L'émergence de la physique quantitative en philosophie au XIVe siècle à Oxford: la scolastique tardive, soubassement de la modernité scientifique ?

Mémoire

Viktor Touchette Lebel

Maîtrise en philosophie - avec mémoire
Maître ès arts (M.A.)

Québec, Canada

L'émergence de la physique quantitative en philosophie au XIV^e siècle à Oxford : la scolastique tardive, soubassement de la modernité scientifique ?

Mémoire

Viktor Touchette Lebel

Sous la direction de :

Claude Lafleur, directeur de recherche

Résumé

Le lien entre le Moyen Âge et l'époque moderne est un sujet âprement discuté en philosophie et en histoire, plus précisément la jonction entre ces deux époques et les phénomènes extraordinaires qui s'y produisirent, que ce soit les grandes explorations, la renaissance artistique, l'apparition de l'humanisme et la révolution scientifique. Dans une optique constructive, nous tentons dans ce mémoire de narrer les grands courants de pensée concernant le lien entre la révolution scientifique et le Moyen Âge tout en exposant leurs lacunes grâce aux travaux les plus actuels sur cet enjeu. Plus précisément, c'est le lien entre la scolastique tardive du XIV^e^ siècle et l'apparition de la méthode des sciences modernes que ce mémoire expose à l'aide du concept d'intelligibilité fonctionnelle et de ses racines méthodologiques, scientifiques et mathématiques.

Cette exposition se fait grâce à un procédé simple, soit la présentation d'un problème et de son histoire. Notre problème est celui de la mathématisation de la philosophie naturelle au XIV^e^ siècle et notre histoire est celle d'un étrange ouvrage, le *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements* écrit par Thomas Bradwardine, et de ses sources. En reconstruisant sommairement le contexte autant que l'univers conceptuel de Thomas Bradwardine, ce mémoire expose un cas particulier de la pratique scientifique à son époque. À partir de cette histoire, ce mémoire présente finalement des considérations générales sur le lien entre la scolastique du XIV^e^ siècle et la révolution scientifique à partir d'un résultat probant, soit la méthode philosophique de Bradwardine, et son lien avec les intelligibilités fonctionnelles typiques de la révolution scientifique.

Table des matières

Résumé ii

Table des matières iii

Remerciements v

Introduction 1

Chapitre 1 : Entre continuité et rupture : la révolution scientifique du XVII[e] siècle et la scolastique tardive 5

1.0 L'état moderne du problème 5

1.1 Le continuisme et le discontinuisme face à la révolution du XVII[e] siècle 9

1.2 L'astronomie copernicienne et la révolution scientifique 17

Chapitre 2 : Le chemin d'une méthode 25

2.0 La modernité, la scolastique et la réappropriation d'une problématique grecque 25

2.1 La science antique, sa tradition et ses conséquences 29

2.1.1 Les mathématiques grecques et les apories ontologiques 30

2.1.2 La division des sciences chez Aristote et sa critique de l'inflation ontologique platonicienne 34

2.1.3 Le néoplatonisme et le syncrétisme mathématico-ontologique 39

2.2 La scolastique et sa tradition tardive 44

2.2.1 La lecture critique des anciens comme constante fondamentale de la scolastique 46

2.2.2 La tradition oxonienne et la scolastique tardive (Bacon, Ockham et Burley) 51

Chapitre 3 : Thomas Bradwardine et le *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements* 61

3.0 La place du Traité dans l'historiographie des sciences : Bradwardine physicien ? 61

3.1 La finalité et l'univers conceptuel du *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements* 66

3.2 L'analyse générale de la règle de Bradwardine dans le *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements* 71

3.3 Le mutualisme des deux thèses organisatrices dans le *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements* 79

Chapitre 4 : La tradition oxonienne et l'épistémologie historique : vers une histoire des sciences pluridisciplinaires 85

4.0 L'approche multidisciplinaire en épistémologie historique : synthèse du problème et des concepts utilisés 85

4.1 L’histoire des sciences et de la philosophie : seule bouée pour l'épistémologie historique ? 88

Conclusion........ 95

Bibliographie........ 97

Remerciements

Cette recherche, par essence difficile dans sa nature interdisciplinaire, ne fut permise que grâce à la patience et la compréhension des personnes m'ayant soutenu, encouragé et guidé. Lier d'une manière pertinente l'histoire des sciences et des mathématiques à la philosophie des sciences et à la philosophie médiévale fut un défi incroyable qui me força à constamment revoir mes objectifs autant que mes prémisses. Ce travail éreintant qui nécessita plus de trois ans de recherche me confronta très souvent à mes limitations comme individu par rapport à l'immensité des connaissances humaines et de leurs connexions. Il est indéniable que je n'aurais pas pu rêver de comprendre cette problématique dans le cadre d'un mémoire sans les travaux titanesques effectués par les philosophes et historiens du dernier siècle. Ma dette est incommensurable par rapport à eux et je me sens comme le nain de la comparaison de Bernard de Chartres[1], puisque j'ai pu contempler l'immensité, moi, être embryonnaire dans ce monde titanesque, uniquement en m'appuyant sur les épaules des êtres colossaux qui m'ont précédé.

Je veux remercier particulièrement Claude Lafleur qui m'a inspiré une passion et un respect énorme pour les penseurs de l'époque médiévale tout en m'enseignant une méthode rigoureuse et historique pour comprendre et estimer à leur juste valeur les héros cachés de l'histoire humaine. C'est avec lui que j'ai pu découvrir un *autre* Moyen Âge, bien loin des représentations caricaturées et ennuyeuses qui s'échangent comme des cartes de hockey entre les amateurs, et même parmi les experts, en philosophie. En lisant Augustin avec Claude Lafleur, j'ai découvert le doute le plus torturant à travers la foi la plus totale, un être d'une profondeur et d'une sensibilité tel que j'en fus renversé dès ma première session comme bachelier en philosophie, passant d'un modernisme condescendant à une vénération pour ces êtres de légende. En lisant Boèce avec Claude Lafleur, j'ai découvert un humain autant héroïque dans sa vie, son travail et sa mort, modèle absolu pouvant de bon droit logé avec Socrate sur la plus haute marche du panthéon occidental. Rétrospectivement, je constate que sans mes cours avec Claude Lafleur, je n'aurais sûrement pas pris ce chemin vers la philosophie dans la *durée* puisque je n'aurais jamais pu sentir comme vivantes les

[1] John of Salisbury, *Metalogicon*, éd. C.C.J. Webb, 3.4, p. 136 ; trad. François Lejeune, p. 246-247.

racines de notre modernité. Bien que passablement mystifié par mes aléas temporels et par le flou de ma recherche initiale, Claude Lafleur m'a encouragé dans ce travail intellectuel tout en me fournissant l'une des meilleures maximes qu'un étudiant en philosophie puisse posséder, soit que nos travaux et nos recherches peuvent nous apparaître parfois comme une prison, mais que ce sentiment est très rapidement éclipsé par la satisfaction de faire partie d'un royaume, de posséder son royaume à soi, où l'on cohabite avec des titans de l'histoire humaine.

Je voudrais aussi remercier ma première professeure de philosophie, Christine Daigle, qui m'a encouragé à courir vers ce que je désirais, sans me soucier des entraves et des préjugés qui pourraient me barrer la route. Je voudrais aussi remercier mes parents, en particulier ma mère Louise Touchette qui m'a perpétuellement supporté, sans l'ombre d'un doute, dans une quête que plusieurs autres auraient trouvée hasardeuse et peu pratique. Le rêve est quelque chose qui se meurt dans l'empire de l'utilité qu'est notre société, heureusement ma mère m'a permis de me trouver un rêve et de le pourchasser jusqu'au bout, ce qui est sans l'ombre d'un doute l'objectif le plus élevé qu'un parent peut donner à son enfant.

Finalement, je voudrais rapidement remercier plusieurs de mes amis qui m'ont nourri dans leurs réflexions autant que dans nos oppositions. Parfois être plongé dans un royaume d'idées et de systèmes plusieurs fois centenaires peut créer une distance entre un individu et le monde qui l'entoure, heureusement que Julien, Tristan, les deux Vincent, Colombe et bien d'autres m'ont relayé des matériaux philosophiques plus vivants pour parfois me sortir de ma torpeur et me fournir certaines bribes des domaines qui pouvaient me sembler autant farouches à apprendre que le mien.

Introduction

Le XXI^{e} siècle présente un spectacle fantasmagorique à tout humain désirant comprendre son monde et son individualité. La vie de chacun, bon gré mal gré, fait maintenant partie d'un véritable métamonde technologique et social qui s'étire progressivement vers les plus extravagantes folies des futurologues du dernier siècle. Autant nos connaissances sur le monde naturel que celles concernant le monde social apparaissent dans un état de perfection empirique et d'autocritique méthodologique qui éblouit tout individu contemplant cet énorme édifice qu'est le savoir humain. Bien loin sont les temps où la philosophie pouvait se reposer sur l'exigence du fronton delphique de se connaître soi-même, maintenant plusieurs humains ne pourraient même pas rêver de se connaître mieux eux-mêmes qu'un praticien moderne les connaîtrait. La simple observation d'un tableau périodique moderne et des atomes qui furent *ajoutés* durant le XX^{e} siècle à ceux existant dans notre système solaire laisse voir l'immensité du changement affectant l'humanité. C'est un monde nouveau que nous peuplons maintenant, un monde qui exige d'être pensé dans sa nouveauté, dans sa réalité propre, un monde qui crée maintenant les choses selon la pensée, qui invente le réel et le vrai, grâce à l'expérimentation et la technique.

Ce renversement du rapport entre l'humain et les lois de son monde nous alloue un nouveau constat, caché dans une certaine mesure par l'omnipotence de l'édifice du savoir humain. C'est hors de tout doute par l'activité humaine, par sa *praxis* cognitive, que les sciences et les techniques humaines ont pu transcender à un tel point les lois régissant notre réalité écologique. Que des singes particulièrement rusés puissent maintenant produire des cataclysmes nucléaires détruisant l'ensemble des leurs ainsi que le reste du vivant les entourant est une réalité qui déclasse notre compréhension de la vie et du monde naturel sur notre planète. La remarque suivante quant à l'émergence des sciences du vivant et leur implication est tout autant criante de vérité quant au renversement du rapport entre l'humain et le monde : « Ces technologies semblent en effet signer aujourd’hui le triomphe de l’artifice. La nature serait un artefact humain, *natura naturata* devenue totalement intelligible et maîtrisable, réalisation ultime du programme cartésien »[2]. Comment avons-nous pu en arriver là et qu'est-ce qu'est vraiment la science, voilà les questions qui doivent être impérativement affrontées par les philosophes, véritables instigateurs de cette transgression des lois terrestres.

Pourtant, dès que l'on porte un regard systématique sur cet enjeu, on s'aperçoit vite que la science triomphante et omnipotente n'est qu'un vernis, appliqué durant le XIXe siècle avec l'idéal des sciences classiques et peu à peu détruit durant le XXe siècle grâce à la victoire totale de la physique des modèles et l'amélioration de la méthodologie historique. Nous sommes maintenant face à des modèles scientifiques se reposant, par exemple, sur une théorie des ensembles, celle de Zermelo-Fraenkel, dont les extensions sont indécidables[3], une théorie physique actuellement non formalisable et intuitivement déroutante qui affecte la presque totalité des sciences mathématisées, la théorie moderne du chaos[4], et une autre où l'expérience, la mathématisation et la conceptualisation sont discordantes, pour utiliser un euphémisme, la théorie quantique de la matière[5]. Même l'épistémologie et les théories de l'organisation des sciences se retrouvent tanguant entre les restrictions excessives du réductionnisme et l'inconnu d'un modèle tentant de pallier ces lacunes évidentes[6].

Ces exemples ne sont qu'un très faible échantillon des éléments de ce type qui affectent la science et sa méthode, malgré que les résultats scientifiques et techniques semblent encore obéir aux échos triomphants parvenant du XIXe siècle. Comme l'éminent épistémologue Edgar Morin le souligne : « L'incertain fondamental est tapi derrière toutes les certitudes locales. À la place des fondements perdus, il n'y a pas le vide, mais un “vase” (Popper), une “mer de boue sémantique” (Mugur-Schachter) sur quoi s'élèvent les pilotis de la

---

[2] DUPONT, Jean-Claude, *Le clonage et l'idée de nature,* p. 123-124.
[3] Même dans sa mouture la plus simple, c'est-à-dire le système formel bivalent du calcul des prédicats, la théorie ZF des ensembles, avec ou sans l'axiome du choix et/ou l'hypothèse du continu, est incapable de fonder d'une manière consistante un autre système formel en mathématique Cf. HAMILTON, Alan G., *Logic for Mathematicians*, p. 126.
[4] La théorie moderne du chaos est présente dans l'ensemble des systèmes mathématisés contenant des équations non linéaires, pourtant les relations mathématiques utilisées pour analyser ces équations se fondent sur des entités mathématiques essentiellement complexes, c'est-à-dire irréductibles aux systèmes logico-déductifs utilisés en mathématique, par exemple l'ensemble de Mandelbrot. Cf. GLEICK, James, La *théorie du chaos*, p. 393.
[5] HEISENBERG, Werner, *La partie et le tout : Le monde de la physique atomique*, p. 358.
[6] CARTWRIGHT, Nancy, *Fundamentalism vs. The patchwork of Laws*, p. 288.

connaissance »[7]. Comment expliquer cette situation autrement que par une lacune béante dans notre conception philosophique de la science, une véritable *crise* de la raison scientifique provenant de l'optimisme naïf du rationalisme occidental, ainsi que par la nature indigeste des avancements scientifiques pour les personnes possédant ces aptitudes de constructions conceptuelles ?

Devant ces deux constats, soit l'omnipotence de la science moderne dans tous les aspects de la vie humaine et l'état de ruine des fondations et des piliers de cet édifice, il est du devoir des philosophes d'investir certains domaines scientifiques. Certes, presque personne ne peut à la fois être un praticien d'une science contemporaine et simultanément la penser grâce aux connaissances et concepts philosophiques temporellement correspondants, mais le retard déjà accumulé dans ce processus permet aux personnes ayant une bonne connaissance élémentaire de certains domaines scientifiques de créer des ponts et d'essayer des rapprochements qui, à défaut d'être parfaitement rigoureux, amènent des intuitions novatrices. Nous croyons que la remarque de Poincaré sur le progrès en mathématique pourrait parfaitement se transposer à l'entreprise de la philosophie des sciences et à la relation entre la science et la philosophie, soit que : « La logique et l'intuition ont chacune leur rôle nécessaire. Toutes deux sont indispensables. La logique qui peut seule donner la certitude est l'instrument de la démonstration : l'intuition est l'instrument de l'invention »[8].

Mais pour prendre acte de ce devoir pesant sur les philosophes, il faut se trouver un point de départ, encore une fois selon les connaissances de chaque individu et les lacunes les plus évidentes dans le processus d'harmonisation et de compréhension de la science. Pour l'auteur de ce mémoire, le point de départ est hors de tout doute l'effondrement de la métaphysique et l'apparition de la science moderne. Plus précisément, l'origine de ce double mouvement, soit la révolution scientifique du XVIIe siècle, nous semblait un terrain déjà coupé, mais encore obstrué de racines et de souches, pour prendre une métaphore forestière. Pourquoi considérer que ce domaine est dans cet état ? Quel chemin pourrait être pris pour mieux aménager certaines parties de ce domaine de recherche et quelles connaissances sont nécessaires pour effectuer cette entreprise ? Voilà en somme le moteur

[7] MORIN, Edgar, LE MOIGNE, Jean-Louis, *L'intelligence de la complexité*, p. 162.
[8] POINCARÉ, Henri, *La valeur de la science*, p. 37.

philosophique de ce mémoire qui tentera, en s'appuyant constamment sur d'autres philosophes et scientifiques, de cerner un problème dans la conceptualisation de la révolution scientifique du XVII^{e} siècle, de tracer l'histoire de ce problème et d'apporter une avenue intuitive permettant d'atténuer ce problème tout en ouvrant la voie à un ensemble de recherches futures.

Chapitre 1 : Entre continuité et rupture : la révolution scientifique du XVII^{e} siècle et la scolastique tardive

1.0 L'état moderne du problème

Il semble maintenant incontestable que la rupture cartésienne, après avoir symbolisé l'émergence de la modernité occidentale pendant plusieurs siècles autant pour les philosophes que pour les historiens de la science et encore pour les néophytes d'aujourd'hui, n'avait pas la nature bienveillante qui lui fut attribuée postérieurement. Loin de nous l'idée de diminuer plusieurs contributions inestimables de Descartes lui-même et des cartésiens s'étant inscrits dans son élan, autant la finalisation de la géométrie analytique entamée par Fermat que la revigoration de la pensée épistémologique et ontologique grâce à l'intégration de la subjectivité radicale sont des acquis constitutifs de la modernité occidentale. C'est plutôt l'attitude philosophique de Descartes et de plusieurs de ses contemporains vis-à-vis de l'héritage philosophique et scientifique leur ayant été transmis qui aura laissé de larges cicatrices dans l'histoire et dans notre compréhension de celle-ci.

Ce dédain est parfaitement illustré par une remarque que fait Descartes dans un écrit tardif où il déclame :

> Je ne veux point examiner ce que les autres ont su ou ignoré ; il me suffit de remarquer que, quand bien même toute la science qui se peut désirer, serait comprise dans les livres, si est-ce que ce qu'ils ont de bon est mêlé parmi tant de choses inutiles, et semé confusément dans un tas de si gros volumes, qu'il faudrait plus de temps pour les lire, que nous n'en avons pour demeurer en cette vie, et plus d'esprit pour choisir les choses utiles, que pour les inventer de soi-même[9].

En somme, l'attitude de Descartes, ainsi que d'une partie considérable de la modernité séculière qui l'aura suivi dans ce jugement aventureux, fut de considérer le legs du passé et particulièrement les efforts ayant permis sa transmission et son amélioration, qu'ils soient latins, arabes ou bien gréco-romains, comme un ensemble trop volumineux et disparate pour en valoir l'étude.

---

[9] DESCARTES, René, *Recherche de la vérité*, p. 498.

Ce jugement, dont la valeur philosophique et scientifique peut être tranchée par l'œil contemporain en faisant simplement l'expérience de la consultation d'un livre de biologie du XIXe siècle, fut et reste catastrophique pour la compréhension historique, philosophique et scientifique de la période médiévale. Autrement dit, analyser le progrès entre Aristote, Albert le Grand et Lamarck en biologie sur une période de 2200 ans peut certes sembler disparate et volumineux pour quelqu'un connaissant les rudiments de la biologie moléculaire, pourtant il faudrait avoir la naïveté du siècle de Descartes pour croire que l'histoire de la biologie n'est pas un facteur structurant de la théorie et de la pratique en science biologique. Parallèlement, il est inconsistant de soutenir l'opinion de Descartes concernant le mérite des recherches scientifiques médiévales, puisqu'elle est foncièrement anhistorique et se situe aux antipodes des théories contemporaines du développement scientifique, qui se définissent majoritairement grâce à leur rapport à l'histoire.

Cette constante contemporaine du rapport à l'histoire, que l'on peut associer à plusieurs penseurs et traditions selon le clocher sous lequel on loge, est devenue déterminante dans la compréhension de la science médiévale grâce à la recherche audacieuse, autant par son volume que par sa position, de Pierre Duhem et de son colossal *Le système du monde*. L'importance de cette œuvre en dix tomes rédigés par Duhem entre 1909 et 1916 est si capitale qu'il serait impossible, voire ingrat, de faire un travail de recherche sur la science au Moyen Âge sans faire mention du travail de Duhem même plus de 100 ans après sa rédaction. L'importance historique et philosophique de cette synthèse est reconnue et estimée par la totalité des historiens de la science au Moyen Âge, autant par les très nombreux détracteurs de Duhem que par ses supporteurs, et peut se résumer, pour paraphraser la remarque de Roger Ariew[10], au fait que Duhem a personnellement détruit le mythe cartésio-comtien de la stérilité des sciences médiévales. Dans la foulée des découvertes textuelles et conceptuelles qu'a permises *Le système du monde*, une véritable revigoration des intérêts philosophiques et historiques pour la fin du Moyen Âge s'est opérée durant le XXe siècle. La mise en valeur graduelle des différents aspects de la science médiévale et des questionnements métaphysiques et méthodologiques sous-jacents à sa

[10] ARIEW, Roger, *Foreword*, p. xix, dans DUHEM, Pierre, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void and the Plurality of Worlds*.

pratique a sans aucun doute porté un coup déterminant, et combien attendu par nombreux médiévistes, contre le mythe de la vacuité scientifique du Moyen Âge !

Bien que la réhabilitation scientifique de la période médiévale doive beaucoup à Duhem, elle lui doit aussi un de ses faits de structures les plus polarisants, soit la querelle découlant de la transformation par Duhem d'un exposé sur la cosmologie occidentale en une synthèse large sur le développement de la connaissance et de la science. En effet, Duhem ne se borne pas à décrire les différents systèmes cosmologiques et leurs entrelacements dans *Le système du monde*, il prend position de manière souvent catégorique dans le brûlant débat des structures historiques et des processus évolutifs de la science et plus largement de la connaissance. Par exemple, il suffit d'ouvrir le premier tome pour voir Duhem déclarer sans équivoque que :

> En la genèse d'une doctrine scientifique, il n'est pas de commencement absolu ; si haut que l'on remonte la lignée des pensées qui ont préparé, suggéré, annoncé cette doctrine, on parvient toujours à des opinions qui, à leur tour, ont été préparées, suggérées et annoncées ; et si l'on cesse de suivre cet enchaînement d'idées qui ont procédé les unes des autres, ce n'est pas qu'on ait mis la main sur le maillon initial, mais c'est que la chaîne s'enfonce et disparaît dans les profondeurs d'un insondable passé[11].

C'est entièrement à l'honneur de ce scientifique accompli et synthétiseur de génie d'avoir eu une opinion philosophique sur le développement des sciences, le contraire aurait été aussi déplorable que surprenant. Le point d'achoppement apparaît plutôt lorsque Duhem, figure défricheuse de l'étude des sciences au Moyen Âge, soutient des positions historiques telles que « toute l'Astronomie du Moyen Âge a contribué à la formation du système de Copernic »[12] ou bien, archétype de la frénésie historique d'une telle œuvre de synthèse, que : « Les physiciens du XVI^e^ siècle furent célébrés comme des créateurs auxquels le monde devait la renaissance des sciences ; ils n'étaient, bien souvent, que des continuateurs et, quelquefois, des plagiaires »[13].

---

[11] DUHEM, Pierre, *Le système du monde*, tome 1, p. 5.
[12] *Ibid*., p. 6.
[13] DUHEM, Pierre, *Le système du monde*, Tome 7, p. 4.

On comprend aisément par de telles prises de position que Duhem, bien que ayant tracé une voie pour la réhabilitation de l'étude de la science au Moyen Âge, a immergé son chemin sous les vives eaux de la polémique. Ainsi les débats engendrés par l'affirmation de la place déterminante de la science médiévale dans le développement de l'Occident latin durant le XVI^e^ et le XVII^e^ siècle ont orné l'analyse de ce segment du savoir historique d'un narratif fort, presque d'une finalité, liant inextricablement plusieurs pans du savoir. La question du rôle, essentiel ou non, qu'avait joué la philosophie naturelle médiévale dans les avancées réalisées devient une matrice d'intérêts et de problèmes autant pour les historiens que pour les philosophes.

On notera que la teneur épistémologique, c'est-à-dire l'introduction d'un modèle de compréhension du développement scientifique, soulignée dans le travail de Duhem, aussi présente chez plusieurs de ses successeurs, ne doit pas être perçue comme un grief contre le travail historique ou philosophique de ces auteurs, mais bien comme l'indication d'une tendance large en épistémologie qui toucha singulièrement la sphère médiévale. Cette tendance, que l'on nommera l'apriorisme historico-théorétique, consiste en l'établissement d'une prééminence, dans le développement scientifique, de la théorie et des hypothèses la composant sur les faits observables empiriquement[14]. Dans le cadre du fait scientifique au Moyen Âge, le dicton « La théorie pour Duhem traduit l'expérience : elle crée les faits qui viendront la soutenir »[15] obtient une force titanesque, puisque la science médiévale ne possède pas une grande variété d'observation, encore moins d'expérience au sens moderne du terme. Ce courant épistémologique, qui attaque plusieurs assises du positivisme en remettant en doute la valeur décisive de l'expérimentation en science[16], aura poussé Duhem à chercher dans l'histoire des sciences les réponses à l'effondrement conceptuel de la thermodynamique de son époque[17]. C'est avec ces considérations à l'esprit qu'il faut introduire comment Duhem a pu analyser la philosophie naturelle et la science classique puis conclure à leur continuité, car une approche proprement positiviste de la connaissance,

[14] WAGNER, Pierre, *Les philosophes et la science*, p. 994.
[15] *Ibid.,* p. 996.
[16]Cela concorde parfaitement avec le fait que Duhem est un expert de la thermodynamique et un témoin privilégié du destin incroyable du principe de Carnot. Cf. POINCARÉ, Henri, *La science et l'hypothèse*, p. 177.
[17]CLAVELIN, Maurice, *Le débat Koyré-Duhem, hier et aujourd'hui*, p. 14-15.

basée uniquement sur les résultats, nous laisserait dans un scepticisme insurmontable face aux analyses autant de Duhem que de ses successeurs.

Synthétiquement, la nature spéculative de la pratique scientifique au Moyen Âge, qui dégoûta si distinctement Descartes, liée à l'apriorisme historico-théorétique des premiers historiens de la science au Moyen Âge a particulièrement influencé l'analyse du rôle, occupé ou non, dans l'histoire des sciences par la scolastique tardive. Nous inspecterons ces éléments avec soin pour porter un jugement renouvelé et cohérent bien que partiel sur la valeur de la contribution médiévale dans la construction de l'édifice moderne.

1.1 Le continuisme et le discontinuisme face à la révolution du XVII^e^ siècle

C'est à partir de l'apriorisme historico-théorétique, que certains particularisent en un courant d'épistémologie continental, un d'antipositivisme, un d'antiréalisme ou simplement un d'épistémologie historique, que l'on doit aborder à la fois Duhem et ses adversaires, car malgré leur opposition sur la nature continue ou discontinue du progrès scientifique, ils évoluent dans un accord relatif quant à la nature historique et conceptuelle du lien entre la scolastique tardive et le XVII^e^ siècle. Bien que Duhem soit le pionnier de ce courant épistémologique, ses conclusions en ce qui a trait à la continuité médiévalo-moderne sont très peu en vogue ou simplement réfutées. Elles conservent tout de même une importance historique considérable, puisqu'elles ont mis en place la matrice contemporaine du problème, ainsi qu'une validité restreinte qui sera exploitée plus loin dans la recherche, ce qui justifie un exposé synthétique de sa thèse ainsi que de celle de son principal détracteur, Alexandre Koyré.

Duhem s'attaque à deux préjugés concernant la science médiévale pour montrer sa continuité ainsi que sa spécificité dans l'histoire des sciences, soit la domination incontestée du système péripatéticien et l'infection de la philosophie par la théologie. En accordant ces deux préjugées, on obtient évidemment une vision superstitieuse et dogmatique du Moyen Âge qui creuse le fossé entre la science classique et la science scolastique. À partir de la mise en relief de cette rupture on en vient vite à la segmentation et la hiérarchisation de l'activité scientifique selon les époques et l'on est à un pas d'une conclusion similaire à celle de Descartes ou à celle nettement moins brouillonne, mais tout autant discontinuiste, d'Auguste Comte, soit que : « […] l'esprit de la philosophie positive surgit en opposition à celui des systèmes superstitieux et scolastiques qui avaient jusque-là obscurci le vrai caractère de toute science »[18]. Puisque Duhem s'oppose catégoriquement à cette vision segmentée et hiérarchisée des périodes d'activités philosophiques et scientifiques, il doit atténuer l'écart entre la science médiévale et la science classique en détruisant l'aspect servile et outrancièrement dogmatique du Moyen Âge. Pour bien comprendre la radicalité avec laquelle Duhem prendra position dans l'analyse spécifique de la transition médiévalo-moderne, il suffit de remarquer que c'est dans cette transition que l'on suppose trouver et prouver un paradigme pour une théorie du développement de la science, car cette transition est sans conteste la plus décisive autant pour le progrès théorique que méthodologique dans l'histoire de la science.

En premier lieu, il faut nier avec Duhem la vision monolithique du Moyen Âge positionnant la philosophie péripatéticienne comme une autorité indépassable. Duhem prouve l'incompatibilité fondamentale des prémisses cosmologiques d'Aristote, le panthéisme et l'éternisme par exemple, avec les doctrines cosmologiques partagées par les religions abrahamiques, c'est-à-dire la création *ex nihilo* du monde et la transcendance de la cause primordiale du monde. Cette incompatibilité est cristallisée selon Duhem par la condamnation de 1277 de l'évêque de Paris, Étienne Tempier[19], puisque le docteur en théologie refuse un grand nombre des principes fondamentaux de la philosophie physique, métaphysique et éthique d'Aristote, par exemple l'impossibilité du mouvement dans le vide, l'impossibilité d'une pluralité de mondes ou bien la destruction de l'âme individuelle après la mort. De plus, Duhem souligne comment l'astronomie ptolémaïque, comprise comme mathématique du mouvement des astres, s'était écartée dès l'Antiquité du système astronomique d'Aristote autant par l'introduction des épicycles que par son laxisme face à la centralité absolue de la terre pour chaque mouvement de rotation astral[20]. Nous ajouterons que la tradition médiévale d'analyse comparée des systèmes physiques, par exemple le maintien d'une tradition atomiste et de son argumentaire chez les théologiens

---

[18] COMTE, Auguste, *Premiers cours de philosophie positive*, p. 63.

[19] DUHEM, Pierre, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void and the Plurality of Worlds,* p. 5.

[20] *Ibid.*, p. 180. Et KUHN, Thomas, *The Copernican Revolution*, p. 79.

arabes et chrétiens[21], ainsi que l'intense compénétration des philosophies arabes, néoplatoniciennes, juives et latines caractérisant la *translatio studiorum*[22] font voir l'autorité d'Aristote au Moyen Âge comme celle d'un *princeps* des savants plutôt que comme une tutelle indépassable.

La deuxième thèse que Duhem s'efforce d'affaiblir est celle de l'infection théologique particulièrement virulente qu'auraient subie la philosophie et l'étude de la nature au Moyen Âge. Il le fait en établissant comment les questionnements cosmologiques et créationnistes ont permis au début du Moyen Âge latin de maintenir une culture scientifique minimale et de développer un rapport critique à la science païenne transmise par Macrobe, Chalcidius et Boèce[23]. Il effectue ensuite un renversement remarquable, souligné plus haut, pour faire de la condamnation de 1277 l'acte de naissance de la physique moderne, ce qu'il justifie par la revigoration qu'elle apporta à la philosophie naturelle grâce à la matrice de possibilités découlant du dogme de l'omnipotence absolue ainsi que le coup mortel qu'elle porta aux péripatétismes gréco-arabes[24].

Bien que historiquement cette problématique semble prendre une place déterminante pour comparer le travail du savant médiéval à celui du scientifique séculier, nous considérons que cette thèse est une mystification découlant d'une véritable *mise en scène* historique de la sécularisation de l'Occident, c'est-à-dire de cette conjoncture grossière faite entre un affaiblissement de la théologie et l'apparition des sciences modernes et physicalistes. Il suffit de rappeler les inspirations, pour ne pas dire psychoses, théologico-mathématiques des savants alexandrins, comme l'illustre *Les Harmoniques* de Ptolémée[25] et les rituels néoplatoniciens de Théon[26], ou bien l'affrontement théologiquement conditionné de Leibnitz et Newton sur la nature de l'espace et de la matière[27] pour conclure que la

[21] DUHEM, Pierre, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void and the Plurality of Worlds,* p. 371-375.
[22] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 486.
[23] DUHEM, Pierre, *Le système du monde*, Tome 4, p. 185.
[24]DUHEM, Pierre, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void and the Plurality of Worlds,* p. 181.
[25] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, p. 348.
[26] HADOT, Ilsetraut, *Athenian and Alexandrian Neoplatonism and the Harmonization of Aristotle and Plato*, p. 5.
[27] KOYRÉ, Alexandre, *Du monde clos à l'univers infini*, p. 300-303.

théologie est présente dans la réflexion scientifique depuis sa genèse et n'infecte pas plus particulièrement le Moyen Âge que l'Antiquité ou l'époque moderne. Même la Renaissance, qui est souvent mise en scène par opposition à un Moyen Âge superstitieux, nous présente des savants exceptionnels, comme Nicolas de Cues ou Jean de la Mirandole, qui n'ont rien de commun avec l'image de l'humaniste sceptique que l'époque contemporaine plaît à se faire. En somme, nous croyons le point de Duhem démontré sur cette question et nous nous rallions au constat spécifique de Guy Beaujouan sur l'Église et la théologie dans le Moyen Âge latin, soit que : « L'Église (dont l'attitude face à la Science est peut-être blâmable à d'autres époques) a, pour le Moyen Âge, beaucoup plus sauvé et encouragé qu'elle n'a freiné ou détourné. Aussi, bien qu'elle ne veuille se recommander que de l'Antiquité, la Renaissance est bien la fille ingrate du Moyen Âge »[28].

Conséquemment à la digression suivante, nous conclurons que la thèse la plus déterminante de Duhem sur le Moyen Âge consiste en son analyse de la décomposition de la science gréco-arabe et de sa réinterprétation dans le milieu latin, puisque c'est précisément les conséquences de ce processus qui lui permettent d'affirmer une continuité conceptuelle entre la scolastique tardive et la science du début de l'époque moderne. Duhem veut démontrer que le renouveau de la philosophie naturelle au XIVe siècle prend racine dans les interactions entre les traditions latines et arabes d'interprétation des écrits péripatéticiens. Cette continuité permet d'inscrire le foisonnement du XIVe siècle dans le processus d'intégration des connaissances antiques et ainsi de supporter une interprétation très large de la portée des questionnements et théories des universitaires de Paris et d'Oxford à cette époque. Par exemple lorsqu'il trace une ligne directrice unissant les questionnements grecs sur le rapport ontologique entre les nombres et la réalité avec les thèses médiévales concernant l'existence d'un temps numérique, une horloge absolue, indépendante des processus naturels[29], il propose implicitement un constat de continuité théorique essentielle entre l'Antiquité, le Moyen Âge et sa propre époque, pour les cadres des débats concernant la nature relative ou absolue du temps. Il est aisé de voir dans cet exemple comment la narration continuiste que fait Duhem s'inscrit dans sa vision large de

[28] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450,* p. 650.
[29] DUHEM, Pierre, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void and the Plurality of Worlds,* p. 357.

l'épistémologie et lui permet de relier Aristote à l'actualité thermodynamique de son époque, c'est-à-dire à la loi de l'entropie[30], en passant par Nicolas Bonet et Newton, et ainsi d'affirmer une continuité théorique forte dans les enjeux fondamentaux de la science physique occidentale, dans ce cas-ci l'existence relationnelle et directionnelle de la temporalité.

Bien que la thèse d'une désolidarisation du péripatétisme gréco-arabe dans l'Occident latin et du foisonnement théorique l'ayant suivie soit défendable et très plausible[31], la connexion de ce segment de la réflexion scientifique d'une manière hyperbolique aux débats proprement modernes ou antiques de la science fut dénoncée avec vigueur comme trompeuse pour juger de l'extension réelle des théories médiévales et des dettes théoriques des débats modernes[32]. La perspective épistémologique de Duhem lui fit adopter une position de transition progressive entre la science classique et la scolastique sur les bases d'une continuité théorique indissociable d'un point de vue moderne, c'est-à-dire celui de la science des modèles où les considérations théoriques à la base du modèle sont les fondements de sa véracité descriptive, de sa commodité et de sa cohérence[33]. La continuité présentée par Duhem est celle d'un contemporain de Clausius et de Maxwell croyant en la dissociation des modèles scientifiques hautement mathématisés et de la réalité ontologique, continuité théorique irreprésentable pour un scientifique du Moyen Âge ou de l'époque de Newton qui ne possède pas l'ombre des outils critiques ou mathématiques dont disposait la science de la fin du XIXe siècle.

Alexandre Koyré prendra soin de souligner ces graves vices de méthode dans l'analyse de Duhem en démontrant que cette révolution du système du monde et de la place des hommes dans celui-ci[34] s'est faite grâce à deux facteurs absents du Moyen Âge, soit la mathématisation de l'espace et du temps grâce à la géométrie et l'algèbre ainsi que la destruction de l'ancien cosmos hiérarchisé par des progrès empiriques et ontologiques, par

---

[30] POINCARÉ, Henri, *La science et l'hypothèse*, p. 177-187.
[31] SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators and the Mathematics of Motion, 1320-1350: Physics and Measurement by Latitudes*, p. 56-57.
[32] CLAVELIN, Maurice, *Le débat Koyré-Duhem, hier et aujourd'hui*, p. 25.
[33] POINCARÉ, Henri, *La science et l'hypothèse*, p. 224-225.
[34] KOYRÉ, Alexandre, *Du monde clos à l'univers infini*, p. 13.

exemple l'observation rigoureuse des tâches lunaires, des comètes et des étoiles fixes[35] qui permit l'homogénéisation des êtres du cosmos et l'extension quasi infinie de la dernière sphère. Comme Koyré le démontre, le processus de mathématisation de la science et l'utilisation des méthodes expérimentales de quantification ont pris de l'ampleur entre l'époque de Copernic et celle de Newton, mais ces savants restent avec des concepts approximatifs de la mesure expérimentale, du critère de cohérence d'un modèle mathématique ou de la relation entre un modèle mathématique et le monde physique. Autant on constate que les limitations des outils épistémologiques du XVIIe siècle prouvent que le rapport à la théorie scientifique à cette époque était loin d'être critique et historique, autant l'absence flagrante de ces outils épistémologiques de base chez les savants médiévaux démontre la déficience de langage scientifique commun entre la tradition scolastique tardive et la science classique.

Koyré analyse cette discontinuité entre le langage scientifique des scolastiques et des modernes en proposant une hypothèse expliquant l'apparition de la mathématisation des phénomènes naturels et l'effondrement du modèle cosmologique d'Aristote. C'est l'hypothèse du renouveau néoplatonicien durant la période de la renaissance et du début de l'époque moderne, certainement la plus reconnue et populaire pour expliquer cette révolution, en partie grâce à la diffusion qu'en fit Thomas Kuhn[36], et qui peut être illustrée historiquement grâce à un segment que souligne Koyré dans le travail de Rheticus, l'élève de Copernic, lorsqu'il déclare que : « C'est en suivant Platon et les pythagoriciens, les plus grands mathématiciens de cet âge divin, qu'il pensa que, pour déterminer la cause des phénomènes, un mouvement circulaire devait être attribué à la terre sphérique »[37].

Ce que constate Koyré l'historien, c'est le foisonnement de référents à la tradition pythagoricienne et platonicienne chez Copernic, Digges, Bruno, Kepler et bien d'autres[38], ainsi que l'étroite liaison entre les tenants de cette résurrection, à la fois philologique et philosophique, et ceux de l'héliocentrisme. Par-delà cette concordance historique, Koyré,

[35] *Ibid.*, p. 81.
[36] KUHN, Thomas, *The Copernican Revolution*, p. 127.
[37] KOYRÉ, Alexandre, *Du monde clos à l'univers infini*, p. 47.
[38] *Ibid.*, p. 54-58.

en philosophe averti, souligne comment un idéal néoplatonicien, celui de la tradition mystique et harmonique[39] allant des plus anciennes croyances pythagoriciennes jusqu'à la théologie méréologique des néoplatoniciens, est réapparu durant la période de la Renaissance. Cet idéal néoplatonicien trouva de forts échos chez les Latins, instruits depuis des siècles grâce à Boèce, Augustin et Pseudo-Denys l'Aréopagite, et contribua à l'essor d'un ensemble de doctrines mathématico-théologiques presque autant délirantes que leurs précédents alexandrins, par exemple les centaines de lois numériques proposées par Kepler pour expliquer les différents mouvements astraux[40] et sa conception du cosmos guidé par sa fixation sur la triade néoplatonicienne et sa similarité avec le dogme trinitaire[41].

Cependant, à la différence des anciens, les astronomes du XVI^e^ et XVII^e^ siècle purent s'appuyer sur l'héliocentrisme et la cohésion qu'il fournit entre les observations et la simplicité mathématique pour fortifier leur croyance mathématico-théologique, passant ainsi du « sauvetage » des apparences et de la vénération des réalités idéales, uniquement accessible *a priori* par l'intellect, à la description mathématique du réel par le médium des apparences. Cette concordance entre les apparences et les fondements mathématiques du monde, que les anciens n'avaient presque jamais atteinte, si l'on exclut la statique d'Archimède[42], et que plusieurs croyaient *a fortiori* irréalisable pour des raisons gnoséologiques[43], est consacrée grâce aux preuves expérimentales de l'héliocentrisme établie par Galilée[44]. Pour Koyré, le projet de réduction des sciences à la géométrie proposé par Descartes[45] est l'une des illustrations de la nouvelle science apparut au tournant du XVII^e^ siècle grâce à l'influence du néoplatonisme et de sa mystique mathématique, ce qui concorde parfaitement avec les propos de Descartes lorsqu'il se demande :

> […] comment donc il se faisait que jadis les créateurs de la philosophie ne voulussent admettre à l'étude de la sagesse personne qui fût ignorant de la mathématique comme

[39] HADOT, Ilsetraut, *Athenian and Alexandrian Neoplatonism and the Harmonization of Aristotle and Plato*, p. 53.
[40] KUHN, Thomas, *The Copernican Revolution*, p. 217-219.
[41] KOYRÉ, Alexandre, *Du monde clos à l'univers infini*, p. 84.
[42] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, p. 328-329.
[43]Autrement dit, l'écart ontologique entre les apparences fluctuantes et les idées éternelles créait pour plusieurs une discontinuité entre les connaissances mathématiques, relevant du domaine idéel, et astronomiques, relevant, malgré leur constance, du domaine de l'apparence. *Ibid*., p. 257-266.
[44] KOYRÉ, Alexandre, *Du monde clos à l'univers infini,* p. 118.
[45] *Ibid*., p. 127.

> si cette discipline leur avait paru la plus facile de toutes et la plus nécessaire pour former et préparer les esprits à comprendre d'autres sciences plus importantes ; j'en vins alors à me figurer sérieusement qu'ils avaient connu une certaine mathématique tout à fait différente de la mathématique ordinaire de notre temps[46].

Cette thèse de la « filière néoplatonicienne » permet à la fois de comprendre l'apparition d'un élément de continuité indéniable, la mathématisation de la nature, entre les sciences classiques et contemporaines tout en expliquant comment la science a pu subir une révolution durable au XVII^e siècle qui la distingue presque entièrement de la philosophie naturelle médiévale. De plus, les faits historiques concernant la diffusion des œuvres antiques, par exemple la traduction de Plotin par Marsile Ficin[47] et la diffusion massive des œuvres d'Archimède[48], l'existence d'écoles néoplatoniciennes en Italie et en Angleterre, l'apparition du courant rationaliste et de son apriorisme ainsi que les témoignages de reconnaissance envers le génie antique des différents acteurs de la révolution du XVII^e siècle concordent admirablement avec l'explication de Koyré. En somme, on peut résumer la distinction entre l'interprétation de Koyré et celle de Duhem par la mise en évidence d'une discontinuité forte entre la philosophie naturelle médiévale et la science classique justifiée historiquement et doctrinalement par l'ébullition néoplatonicienne et l'établissement de l'héliocentrisme. Cette thèse est confirmée dans une optique plus large par la différence de l'objectif étiologique entre la science médiévale et la science classique et contemporaine, que Guy Beaujouan historien de la période médiévale, synthétise lorsqu'il déclare, à propos des philosophes du XIV^e siècle, que : « Les penseurs de cette époque n'ont pas brisé cette "union d'une métaphysique finaliste avec l'expérience du sens commun" que Koyré considérait naguère comme caractéristique du Moyen Âge. Il n'était pas question pour eux de renoncer aux explications causales et essentielles, pour se contenter de la simple intelligibilité fonctionnelle qui sera celle de la science classique »[49]. Cette remarque et le concept d'intelligibilité fonctionnelle seront un fil directeur d'une grande importance pour cette recherche, puisqu'ils nous permettent de déterminer

[46] DESCARTES, René, *Règles pour la direction de l'esprit,* règle IV, p. 96.
[47] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 357.
[48] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 96.
[49] BEAUJOUAN, Guy, *Le moyen-âge latin*, dans TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450,* p. 625.

précisément un élément de changement fondamental dans l'évolution de la science à cette époque[50].

1.2 L'astronomie copernicienne et la révolution scientifique

Bien que la thèse de Koyré fournisse un narratif nettement plus cohérent que celle de Duhem pour expliquer la transformation qu'a subie la philosophie naturelle entre la fin du Moyen Âge et le XVII^e^ siècle, plusieurs facteurs restent hétérogènes à ces deux narratifs et certaines trames explicatives semblent exagérer des constats sociaux et cosmologiques dans le travail réel des savants. En somme, il semble qu'il faille reconstruire la trame de cohérence entre la scolastique tardive et la science classique en réévaluant les grandes voies établies par Duhem, soit la binarité entre le possible absolument et le possible naturellement qui singulariserait les doctrines latines du XIV^e^ siècle, et par Koyré, soit l'influence de l'apriorisme néoplatonicien et la nouveauté de l'idéal mathématique en philosophie naturelle. Du travail de ces grands historiens et philosophes, il faut conserver deux thèses comme des acquis déterminants et presque irrévocables pour l'analyse de la transition XIV^e^-XVII^e^ siècle, soit l'importance de l'héliocentrisme et de la corrélation mathématico-ontologique qu'il renforça ainsi que la tradition interprétative et philosophique propre à l'Occident latin médiéval, phénomène complexe qui ne peut pas se réduire à la description qu'en fait Duhem.

En effet, il semble maintenant consensuel[51] de nier que le dogme théologique de l'omnipotence divine fut aussi déterminant dans la désolidarisation du péripatétisme gréco-arabe que Duhem le supposait. Ce jugement se fonde autant sur la nature multiforme de la pratique philosophique et théologique en terre d'islam[52] que sur les réceptions équivoques des écrits grecs et arabes durant le XII^e^ et XIII^e^ siècle, par exemple la croisade que mène Thomas d'Aquin contre l'averroïsme[53], la dénonciation par Roger Bacon des traductions

---

[50] L'étude de la transformation du rapport entres les connaissances scientifiques, le monde naturel et l'Être permet d'exhumer une structure ontologique et gnoséologique qui subit une modification remarquable durant le Moyen Âge, soit l'effritement de la cohérence du discours réaliste hérité de l'Antiquité en science qui culminera dans la scholastique tardive. Voir plus bas p.25 et p.57-59

[51] *Ibid.*, p. 616.

[52] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 115-120.

[53] *Ibid.*, p. 411-413.

arabes d'Aristote[54] ou bien la polémique concernant l'utilisation de la dialectique en théologie par Abélard[55]. Le jugement de De Libera sur cette binarité réductrice, que Duhem trace et exploite, entre un péripatétisme gréco-arabe homogène et des dogmes théologiques latins exogènes qui aurait alimenté une rupture dans une philosophie naturelle foncièrement aristotélicienne reste à notre avis sans contradicteur :

> Dissous dans un inextricable réseau de positions et de voies, l'aristotélisme perd en définition ce qu'il gagne en extension : plus il y a de thèses manipulables, moins la doctrine d'ensemble est contraignante. À se multiplier ainsi Aristote se dissout dans un réseau d'autorités et de codages qui assurent son autorité, mais sans y mettre une dominante, un principe hégémonique ou un code des codes[56].

Malgré cette dualité réductrice et la cohérence mise en lumière[57] entre la philosophie naturelle du XIVe siècle et les principes déterminants de la physique aristotélicienne, principalement l'existence d'une hiérarchie ontologique organisant le monde physique de haut en bas et le mouvement-processus déterminé formellement, il semble légitime de prendre la question de Duhem dans son ampleur réelle, c'est-à-dire par-delà la cosmologie. La discontinuité en cosmologie semble sans appel et il faudrait être bien têtu pour ne pas accepter l'annihilation de la cosmologie péripatéticienne au XVIIe siècle et son importance sur la vision du monde des humains de cette époque. Pourtant l'héliocentrisme n'est pas la totalité de la révolution scientifique et s'inscrit dans un contexte qui dès le XVIe siècle dépassait la cosmologie, perspective presque exclusive que prend Duhem et qui était particulièrement dépendante de l'astronomie. De plus, il semble peu contestable de donner aux techniciens européens, à Galilée et à Newton, les rôles déterminants pour expliquer la révolution scientifique, principalement pour leur intégration des mathématiques de leur époque aux problèmes scientifiques ainsi que pour leurs contributions au développement des nombreux appareils scientifiques de mesure et de manipulation. Cette révolution dépasse les cadres cosmologiques et affectera autant la cinématique, la dynamique, la méthodologie scientifique, les techniques, par exemple dans les domaines naval, chirurgical, architectural et balistique, les mathématiques et l'utilisation du symbolisme en

---

[54] LEMAY, Richard*, Latin Translations and Translators*, dans *Roger Bacon and the Sciences*, p. 45.
[55] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 313.
[56] *Ibid*., p. 365.
[57] CLAVELIN, Maurice, *Le débat Koyré-Duhem, hier et aujourd'hui*, p. 24-26.

logique et en mathématique, par exemple avec la symbolisation de la variation et de la mise en fonction par Viète[58], l'utilisation de l'optique d'Ibn al-Haytham pour la construction des « trompe-l'œil » dans les églises gothiques et des lentilles sphériques au XVIe siècle[59], ou bien la définition algébrique du taux de variation instantané par Newton et la révolution métrologique indispensable aux mesures modernes qui suivit l'élaboration de cette méthode[60]. Dans cette optique plus générale qui signale clairement une évolution technique et scientifique dépassant la diachronie de la révolution cosmologique, il est pertinent de poursuivre la réflexion de Duhem grâce aux recherches récentes pour trouver comment et par quel processus l'intégration et le dépassement du savoir antique en Occident latin se sont produits.

Malheureusement Duhem est bien coi pour proposer une nouvelle piste permettant d'expliquer historiquement d'autres aspects que la cosmologie, au mieux nous souligne-t-il la présence d'une description presque cantorienne de l'infini catégorématique chez Grégoire de Rimini qui pourrait être une amorce de réflexion sur la densité des nombres[61]. Son explication continuiste et conceptuelle est donc confrontée, comme le dit Maurice Clavelin, à :« une difficulté générale à laquelle Duhem n'a jamais fourni la moindre réponse plausible : comment des principes et des concepts élaborés en vue d'une explication foncièrement qualitative auraient-ils pu mener à l'idéal d'une explication quantitative pour qui les mathématiques sont un instrument privilégié »[62]. Ce qui semble manquer à Duhem, c'est précisément ce que nous avons souligné plus haut chez Koyré, soit le renforcement de la corrélation mathématico-ontologique qui anime les différents pans de la révolution scientifique et que justifie la thèse de la filière néoplatonicienne qu'il propose. Nous disons « renforcement », car il nous semble douteux que cette corrélation soit le signe d'une discontinuité claire qui pourrait être expliquée grâce à l'assimilation rapide des œuvres « néoplatoniciennes » et qui aurait entraîné la géométrisation de l'espace et l'éclatement

[58] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 98.
[59] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450,* p. 633.
[60] *Ibid*., p. 190-191.
[61]Ce qui aurait pu servir de piste pour une analyse du développement conceptuel de l'infini, entendu historiquement comme un des chantiers théoriques fondamentaux pour l'avènement du calcul infinitésimal et d'une vision cohérente de l'espace en physique. Cf. DUHEM, Pierre, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void and the Plurality of Worlds*, p. 112-113.
[62] CLAVELIN, Maurice, *Le débat Koyré-Duhem, hier et aujourd'hui*, p. 19.

du monde fini d'Aristote. Plus précisément, c'est la thèse de la réapparition du néoplatonisme durant la Renaissance et l'importance de l'apriorisme mathématique qu'elle aurait suscitée pour l'avènement de la révolution du XVIe-XVIIe siècle qui nous semble très incomplète, puisqu'elle laisse de côté la nature technique et expérimentale de cette révolution. De plus, trois raisons majeures atténuent l'influence réelle que suppose cette thèse, soit l'existence continue du néoplatonisme et son éclatement doctrinal, l'existence de la cohérence mathématico-ontologique et son renforcement durant la fin du Moyen Âge ainsi que l'incohérence entre le modèle épistémologique liant les mathématiques à l'être présenté dans le néoplatonisme réémergent et l'utilisation doctrinale et expérimentale des mathématiques que l'on observe à cette époque.

Puisque la réévaluation de cette thèse constitue d'une certaine manière la structure de cette recherche et sera détaillée grâce à un narratif historique et à un exemple textuel tiré du XIVe siècle, nous ne synthétiserons ici que les justifications générales qui sous-tendent cette position modérant la « filière néoplatonicienne ». Il semble exagéré de vouloir prêter au néoplatonisme une réapparition déterminante durant le XVe siècle, puisque ce dernier n'a jamais complètement disparu, bien que certains des textes aux fondements de cette diaspora intellectuelle, ceux de Platon et de Plotin, aient réapparu à cette époque. Il serait très long et répétitif de retracer les dettes néoplatoniciennes du Moyen Âge arabe et latin autant pour l'interprétation d'Aristote que de Ptolémée et d'Euclide, nous nous contenterons de souligner que la presque totalité des penseurs majeurs du Moyen Âge, que ce soit Avicenne ou Averroès, Maïmonide ou Alain de Lille, Thomas d'Aquin ou Roger Bacon, ont subi l'influence directe et indirecte de Proclus, de Jamblique, de Simplicius, d'Augustin, de Boèce et de Pseudo-Denys, tous des penseurs néoplatoniciens ou fortement influencés par le néoplatonisme. Il semble encore plus déterminant de souligner que dans le cas du Moyen Âge latin, le néoplatonisme était le courant philosophique dominant avant le XIe siècle et que ce fut systématiquement grâce à la médiation des commentaires néoplatoniciens ou arabes qu'Aristote fut intégré et combattu en Occident[63]. De plus, il est maintenant certain et maintes fois confirmé que l'influence d'Archimède, qui obéit à un modèle épistémologique beaucoup plus proche, historiquement et théoriquement, de

[63] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 314-316.

l'aristotélisme que du néoplatonisme, fût plus déterminante, sans conteste plus que celle de Platon et de Plotin, dans la pratique scientifique de Galilée[64], Fermat, Kepler[65] et Cavalieri[66].

Le second argument est assurément le plus contesté et le moins étudié par les épistémologues, peut-être à cause de l'hermétisme théorique de la scolastique tardive. Il découle d'observations concernant l'enthousiasme, tout au moins équivalent à celles du XV^e^--XVI^e^ siècle, des savants du XIII^e^-XIV^e^ siècle pour les connaissances mathématiques de cette époque, par exemple les remarques très képlériennes de Roger Bacon[67] sur la nature innée et divine de la mathématique, qui font écho à la tradition harmonique des néoplatoniciens en y incluant des figures chrétiennes. Nous soulignerons aussi ses traités concernant le livre 5 des *Éléments* d'Euclide[68], puisqu'ils signalent une tradition durable dans la scolastique d'Oxford qui se transmettra chez les docteurs parisiens et les *Calculatores* du XIV^e^ siècle ainsi qu'aux maîtres italiens du XVI^e^ siècle, ce qui illustre clairement la pérennité de l'intérêt mathématique de certaines écoles de la scolastique tardive[69]. Au-delà de quelques auteurs ou d'une tradition particulière, c'est l'entièreté de la pratique scientifique en Occident au XIII^e^ siècle qui utilisera son savoir des mathématiques, surtout l'arithmétique et l'harmonique de Boèce ainsi que la géométrie euclidienne, comme outil interprétatif des textes de philosophie naturelle, d'optique et d'astrologies gréco-arabes[70]. Nous soulignerons en somme que l'intégration des connaissances mathématiques et de leur usage dans les sciences médianes est presque contemporaine à l'intégration des nouveaux traités naturels d'Aristote dans la pratique scientifique en Occident latin, ce qui permet de supposer un développement, d'autant plus

64 CLAVELIN, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée*, p. 463.
65 BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 98-107.
66 TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, p. 329.
67 MOLLAND, George, *Roger Bacon Knowledge of Mathematics*, dans *Roger Bacon and the Sciences*, p. 163-164.
68 *Ibid*. p. 161.
69 BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 88.
70 Comme semble l'indiquer l'apparition de plus en plus fréquente des sciences mathématiques dans les guides de formation universitaire au XIII^e^ siècle. Cf. HAAS, Max, *Les sciences mathématiques*, dans LAFLEUR, Claude, *L'enseignement de la philosophie au XIIIe siècle : Autour du « Guide de l'étudiant » du ms. Ripoll 109*, p. 105.

une *maîtrise*, complémentaire de ces deux legs antiques plutôt qu'une opposition ou qu'une succession.

Finalement, le troisième argument est le moins contestable ainsi que le plus fatal pour la théorie de la « filière néoplatonicienne », puisqu'il semble que l'apriorisme mathématique propre à la tradition platonicienne et à certains scientifiques, tels que Kepler et Descartes, ne soit aucunement la position épistémologique des acteurs les plus déterminants de cette époque[71]. On constate en effet que Galilée, bien qu'il soit persuadé de la rationalité de la nature et qu'il adhère entièrement aux principes logico-ontologiques les plus contraignants, ne conçoit pas les mathématiques comme une source de connaissance parfaite pour l'enquête scientifique. Au contraire voit-il, avec une intuition critique étonnante pour son époque, comment les explications mathématiques finies que les humains peuvent mobiliser sont des simplifications arbitraires, car dépendantes des techniques mathématiques disponibles, par exemple l'impossibilité au début du XVII^e siècle d'analyser mathématiquement le comportement du petit temporel et spatial, et des instruments pour confirmer expérimentalement ces explications. Clavelin, dans son ouvrage sur la philosophie naturelle de Galilée et ses fondements historiques, synthétise ces considérations en déclarant qu'en : « Analysant les conditions dans lesquelles s'effectue la géométrisation, les *Discours* savent préciser avec beaucoup de lucidité le statut de leurs lois et propositions : vérifiables de manière très satisfaisante dans les limites de nos moyens techniques, elles reposent nécessairement aussi sur des simplifications qui, vis-à-vis du réel, équivalent en fait à une interprétation »[72]. On relève une approche similaire quant aux mathématiques chez l'autre grand savant du XVII^e siècle, par exemple lorsque Newton constate lui-même que les méthodes mathématiques de sa théorie des fluxions ne permettent pas l'omission de la plus petite quantité et doivent être excessivement rigoureuses. Or la mesure approximative et l'analyse des mouvements gravitationnels sont les finalités de la méthode des fluxions tel qu'il l'a constitué, ce qui explique pourquoi il accepte sans problème une incohérence mathématique, soit la nature instantanée du mouvement[73], c'est-à-dire la nullité d'une quantité d'ordre supérieur dans le calcul des taux

[71] DRAKE, Stillman, *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*, Vol. 2, p. 333.
[72] CLAVELIN, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée*, p. 458.
[73] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 193-194.

de variation[74], plutôt que de diminuer la valeur fondamentale des données empiriques. On rendrait efficacement le schéma épistémologique newtonien en posant l'expérience sensible comme la source des principes et des constantes quantitatives d'une science qui doit ensuite instrumentaliser des outils mathématiques pour permettre l'explication de toutes les expériences sensibles tombant sous ses principes[75], ce qui est à des kilomètres d'un apriorisme mathématique à la Kepler[76] et qui correspond parfaitement à l'utilisation des mathématiques par Galilée pour la découverte de la loi de la chute libre[77].

En voyant cette progression vers l'intelligibilité fonctionnelle des sciences mathématisées entre la critique galiléenne de la nature simplificatrice des modèles mathématiques et l'utilisation consciemment[78] instrumentale des mathématiques chez Newton[79], nous croyons voir une autre voie d'explication pour le renforcement mathématico-ontologique du XVIe-XVIIe siècle. Cette voie n'est pas en contradiction avec la thèse de la « filière néoplatonicienne » de Koyré, elle vient au contraire pallier les lacunes tout juste exposées de cette explication en décrivant une méthode de la philosophie naturelle qui attache la mathématique et la méthode expérimentale. En somme, on peut conclure que bien que le copernicanisme soit l'événement doctrinal phare du début de la révolution scientifique, celle-ci doit s'inscrire dans un cadre plus large que celui rendu possible par la « filière néoplatonicienne » et nécessite donc l'élaboration d'un schéma historique liant la position épistémologique des savants du XVIIe siècle à la prédisposition européenne pour les doctrines mathématiques enthousiastes des néoplatoniciens et surtout à l'utilisation concrète et expérimentale des mathématiques en science. Bien que Duhem et son explication axée sur les événements de 1277 soient maintenant hors concours, en ce qui concerne la science classique, c'est bien dans son intuition profonde, soit l'influence de la réinterprétation systématique des connaissances scientifiques à travers les différentes voies de transmission du savoir et les milieux intellectuels entre l'Antiquité et l'Europe, que nous

[74] *Ibid.*, p. 150.
[75] BURTT, Edwin Arthur, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, p. 216-217.
[76] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 106-107.
[77] DRAKE, Stillman, *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*, Vol. 2, p. 335.
[78] *Ibid.*, p. 343.
[79] BURTT, Edwin Arthur, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, p. 208-210.

inscrivons notre contribution à la description d'une période fondamentale de la modernité occidentale.

Chapitre 2 : Le chemin d’une méthode

2.0 La modernité, la scolastique et la réappropriation d’une problématique grecque

Pour aller plus loin sur cette piste qui s’avère des plus fécondes pour comprendre la modification du rapport des mathématiques à l’être, il faut se demander d’où peut provenir cette tradition méthodologique présente chez Galilée, Pascal[80] et Newton que certains qualifient de « mathématique expérimentale »[81] et qui peut s’identifier à l’utilisation des mathématiques comme intelligibilité fonctionnelle. Par *intelligibilité fonctionnelle*, nous entendons grossièrement un ensemble de propositions formelles[82] constituant un système cohérent, c’est-à-dire non contradictoire et résistant aux cas limites, ayant pour fonction de rendre compte de l’intelligibilité d’un phénomène, c’est-à-dire permettre la description et la prédiction d’un phénomène.

Un exemple évident, quoique archaïque, d’intelligibilité fonctionnelle pourrait être fourni par l’analyse que Héron d’Alexandrie propose pour la relation entre le poids d’un objet, la force exercée sur cet objet et son mouvement sur un plan horizontal. Héron, dans *Les mécaniques*, se demande si le poids d’un objet influence la force nécessaire pour déplacer cet objet sur un plan horizontal et propose, 1400 ans avant Galilée, qu’une force presque inexistante puisse déplacer un objet peu importe son poids. Comment arrive-t-il à cette conclusion qui va clairement contre l’expérience sensible et les principes fondamentaux de la dynamique de son époque ? Il suppose une abstraction mathématique dans laquelle les objets de différents poids ont tous la forme d’une sphère parfaite et reposent sur un plan horizontal parfaitement plat, par parfait nous signifions la nature homogène, sans aspérité, de la sphère et du plan, c’est-à-dire l'identité des distances entre chaque point de la surface de la sphère et son centre ainsi que la bidimensionnalité stricte du plan horizontal. Grâce à

[80] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 147-151.
[81] BRUNSCHVICG, Léon, *Les étapes de la philosophie mathématique*, p. 193.
[82] Plus précisément, un ensemble de propositions formel recoupe la notion moderne de système formel, c'est-à-dire un système utilisant un alphabet symbolique s'organisant grâce à des axiomes et à des règles de construction. Dans le cas d'un système présymbolique, il reste possible, quoique sémantiquement hasardeux, d'organiser un « proto-alphabet » à partir de relations mathématiques et conceptuelles permettant d'arriver à des conclusions déterminées par les règles d'inférences choisies ainsi que les axiomes acceptés, comme le prouve les mathématiques en prose de l'Antiquité et du Moyen Âge. Cf. HAMILTON, A.G., *Logic for Mathematicians*, p. 27.

cette abstraction reposant sur les propriétés formelles de la sphère et du plan, Héron conclut qu'une inclinaison presque inexistante du plan entraînera la sphère parfaite dans un mouvement de rotation, peu importe son poids individuel[83]. Cette conclusion, qui respecte la dynamique moderne dans un modèle avec un seul vecteur de force, est obtenue grâce à l'abstraction de l'ensemble des lois sensibles, dans un vocabulaire moderne les vecteurs d'inerties gravitationnelles et de frottement causés par l'impossibilité d'un point de contact unique, dans une situation dynamique qui obéira ainsi uniquement aux propositions mathématiques les plus simples et à une observation empirique minimale, soit l'instabilité d'une sphère lisse sur un plan horizontal et incliné.

Un exemple plus moderne d'intelligibilité fonctionnelle peut être fourni par les modélisations climatiques sur ordinateur d'Edward Lorenz. Cette expérience, qui permet de prouver l'extrême sensibilité aux conditions initiales d'un système météorologique ainsi que son imprédictibilité, propose de modéliser dans un espace informatique la formation des nuages selon les propriétés fondamentales de l'eau et quelques lois de dispersion, Lorenz n'en prenant que trois au début de ses expériences en 1961[84]. Grâce à ce modèle ultra simplifié et à des milliers de réitérations des quelques lois non linéaires sur le milieu dynamique que forme l'eau se transformant en nuages, Lorenz réussit à découvrir certains des faits expérimentaux et mathématiques les plus déterminants de la deuxième moitié du XX^e^ siècle, par exemple l'existence du chaos dans les systèmes complexes, l'effet papillon ainsi que l'impossibilité physique du démon déterministe de Laplace. Certes, les découvertes de Lorenz et de beaucoup de physiciens suivant son exemple s'expliquent par la possibilité nouvellement offerte par les ordinateurs de réitérer des millions de fois un calcul complexe en très peu de temps. Pourtant l'utilisation proprement expérimentale, par réitération successive ou par la modification d'une équation du modèle ou d'une donnée de l'état initial, des outils mathématiques permise par les nouvelles super-calculatrices dans l'élaboration de modèle physique semble être un apex technique d'une méthodologie en tout point similaire à celle de Héron. On peut encore renforcer cette continuité historique de l'exploration des phénomènes physiques grâce à l'usage expérimental des

[83] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450,* p. 347.
[84]GLEICK, James, La *théorie du chaos*, p. 27-35.

mathématiques avec l'exemple de la méthode newtonienne de résolution d'équation insoluble du 3e ou 4e degré grâce à des approximations successives faites à partir d'équations solubles qui ont permis à Newton de résoudre des équations analytiquement insolubles pour son époque et ainsi décrire précisément certaines variations d'accélération d'un corps[85].

Avec une idée claire de la valeur, pour l'exploration et surtout l'interprétation, des intelligibilités fonctionnelles depuis Galilée, on doit se demander si cette méthode est uniquement due à la réapparition à la fin du Moyen Âge des textes de certains de ses tenants antiques, principalement Archimède[86]. Il nous semble que non, puisque l'utilisation expérimentale des mathématiques et les premières réflexions critiques sur cette méthode sont clairement présentes durant le Moyen Âge arabe et latin, par exemple dans l'utilisation en posologie de la théorie des rapports du 5e livre des *Éléments* chez Avicenne et chez le médecin de Montpellier Arnaud de Villeneuve[87]. On peut aussi soulever l'utilisation d'une trigonométrie, théoriquement rudimentaire certes, mais pratiquement indispensable, au XIIIe siècle en Occident dans la cartographie comme le prouvent certains commentaires de Raymond Lulle sur l'estimation d'une droite est-ouest traversée lors d'une dérive en diagonale sur l'axe sud-est[88]. De plus, cette discontinuité qui permettrait la « réapparition » d'Archimède tout à la fin du Moyen Âge omet complètement, tout comme la thèse similaire appariée au renouveau néoplatonicien, le travail d'un Guillaume de Moerbeke qui traduisit la presque totalité des travaux d'Archimède en 1269[89]. Le mythe de l'aridité scientifique du Moyen Âge s'estompe pour laisser entrevoir une cohabitation historiquement indéniable entre la philosophie naturelle et les différentes techniques découlant des sciences médianes, elles-mêmes fruits de l'intégration des corpus mathématiques durant le XIIe et XIIIe siècle par les universités et les philosophes. La question de Guy Beaujouan nous semble des plus appropriées pour montrer la naïveté de l'opinion soutenant l'absence d'une pratique

[85] *Ibid*., p. 272-274.
[86] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, p. 328.
[87] SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators and the Mathematics of Motion, 1320-1350: physics and measurement by latitudes,* p. 64.
[88] BEAUJOUAN, Guy, *Le moyen-âge latin*, dans TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, p. 640.
[89] *Ibid*., p. 609.

scientifique et mathématique fructueuse à la fin du Moyen Âge : « Comment ne pas croire que le brusque élargissement du domaine de la science à la statique, à la dynamique, à l'hydrostatique et au magnétisme n'ait aucun rapport avec l'ascension sociale, absolument concomitante, du technicien ? »[90].

En somme, l'existence et l'affinement critique de cette méthode ne se limitent pas à une période ou à un ensemble d'acteurs définis, elle s'étend sur un espace matériel et temporel immense qui peut s'expliquer par des « faits de structures »[91], et par une problématisation constamment renouvelée d'un certain donné doctrinal accessible. Par un « fait de structure » nous entendons l'existence d'un cadre réel et contingent, historiquement et matériellement analysable, découlant des textes et philosophes ayant fondé et transmis un problème ou une matrice de problèmes, déterminant nécessairement la cohérence interne de cette matrice de problèmes. Alain de Libera qualifie cette approche de foucaldienne et l'attache à l'impératif philosophique d'étudié ce qui rend nécessaire, historiquement et non théoriquement, une certaine forme de pensée[92]. Par exemple nous élaborerons plus loin l'idée que le syncrétisme voulu par le néoplatonisme de la fin de l'Antiquité entraina la réalisation concrète, le *fait de structure,* d'une matrice de problèmes liant inextricablement Aristote et le platonisme durant le Moyen Âge[93]. Autrement dit la cohérence et l'unicité du discours au Moyen Âge doit être analysé en prenant en considération le syncrétisme réalisé qui détermine historiquement la philosophie latine. Pour nous, l'historien de la philosophie au Moyen Âge ne doit pas simplement souligner la nature analytique de la philosophie scholastique par un lien théorique avec l'aristotélisme. Il doit l'expliquer en mobilisant aussi le syncrétisme purement contingent des textes accessible aux latins et expliquer leurs tentatives d'analyse et de découpage par la nature des textes leurs étant accessibles. Nous croyons donc qu'il faut étudier la méthode des intelligibilités

[90] *Ibid*., p. 638.

[91] DE LIBERA, Alain, *La querelle des universaux de Platon à la fin du Moyen Âge*, p. 13.

[92] Bien que nous ayons conscience de cette parenté théorique forte entre De Libera et Foucault, nous tentons dans ce mémoire, d'une manière très grossière il faut l'avouer, de pasticher la méthode de recherche d'Alain De Libera, puisque plusieurs de nos thèses et outils de recherches sont inspirées et encadrées par celles que De Libera utilise dans ses propres recherches en philosophie médiévale. Cf. DE LIBERA, Alain, *L'archéologie philosophique : Séminaire du Collège de France 2013-2014*, p.14

[93] Voir la section 2.2.1 concernant la lecture critique des anciens ainsi que la section couvrant les p.55-60 concernant l'affaiblissement de la méthodologie aristotélicienne pour avoir une idée claire et exemplifiée d'un fait de structure.

fonctionnelles selon des faits de structures contingents déterminant l'utilisation des ressources matérielles, conceptuelles et expérimentales, plutôt que la concevoir comme une construction méthodologique découlant d'une nécessité conceptuelle ou expérimentale. Dans le cas de la méthode des intelligibilités fonctionnelles, nous souligneront deux faits de structures, soit les deux théories de l'organisation du savoir héritées de l'Antiquité ainsi que la tension entre la science contemplative et la science par le faire découlant de la fluctuation des niveaux de vérités attribué aux doctrines philosophiques et scientifiques durant l'Antiquité et le Moyen Âge.

2.1 La science antique, sa tradition et ses conséquences

Nous tenterons de reconstruire approximativement cette problématique autour de deux axes doctrinaux, soit la division des sciences chez Aristote et l'ontologie mathématique des néoplatoniciens. On note que ces deux faits de structures sont présents dès l'Antiquité hellénique[94], bien que l'ontologie mathématique de cette époque fût pythagoricienne plutôt que néoplatonicienne, et qu'ils trouvent une réactualisation constante autant chez les savants arabes et les scolastiques latins que chez les penseurs éminents de la science classique. Cette courte histoire du problème permettra de mettre en lumière la tension ontologique entre les mathématiques et le réel héritée de l'Antiquité, la réactualisation de cette tension dans le contexte latin du XIVe siècle et l'influence qu'elle aura sur la situation moderne de cette problématique que nous venons de mettre en relief. Bien que nous ne puissions qu'esquisser ce nouveau schéma pour expliquer la transition entre la philosophie naturelle et la science classique, il possède tout de même une valeur dans la mesure où les lacunes soulignées dans l'explication de Koyré peuvent être grandement atténuées sans mettre en danger la dynamique de cette explication.

En effet, la réévaluation du statut ontologique des mathématiques dans la période de la révolution scientifique s'inscrit dans un fait de structure en philosophie qui se redéfinit selon les époques et les lieux, mais semble conserver la tension créatrice découlant des deux axes doctrinaux majeurs de l'Antiquité, malgré certaines disparités historiques qui finissent par être réintégrées avec grand bénéfice à la matrice problématique, par exemple

[94] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450,* p. 316-318.

la statique d'Archimède ou la loi du levier du *Liber Jordani*[95]. Brunschvicg rend bien compte de cette tension dans la science antique en soulignant que le mathématicien restreint son activité au domaine des hypothèses et de leurs conséquences, tandis qu'il revient au physicien d'établir les principes régissant le réel et sa correspondance possible avec les systèmes hypothétiques des mathématiciens[96]. L'observation de Brunschvicg souligne un fait de structure, puisqu'en décrivant l'Antiquité il énonce une réalité qui pourrait très bien concerner les mathématiques et la physique contemporaines, par exemple la création hautement spéculative des mathématiques non euclidiennes au XIXe siècle et leur utilisation remarquable dans la théorie relativiste au XXe siècle[97].

Nous ajouterons que la nature instrumentale de la mathématique semble l'assujettir méthodologiquement et ontologiquement aux doctrines du physicien et du logicien, bien que les mathématiques soient *rétrospectivement*, même du temps d'Eudoxe et d'Aristote, la source primaire des corrélations scientifiquement robustes entre des principes logico-physiques et des faits observables. En somme, il s'agit de comprendre comment les mathématiques ont pu générer une tension créatrice dans les sciences et la philosophie bien que leur travail doive être le sauvetage des apparences sous l'égide des sciences et de la philosophie, car c'est dans ce *topos* interactif qu'ont pu apparaître les spécificités de la pratique scientifique en Occident.

2.1.1 Les mathématiques grecques et les apories ontologiques

Pour comprendre le contexte dans lequel les deux positions doctrinales majeures de l'Antiquité concernant les mathématiques se sont développées, il faut faire un retour dans la période archaïque de la pensée scientifique grecque, puisque cette dernière laissa deux apories majeures aux philosophes de l'Antiquité se penchant sur le rapport entre les mathématiques et l'être. Dans une optique large, l'aporie des distances irrationnelles et l'aporie de l'opposition entre le continu et l'infiniment petit, pourraient être inscrites dans la problématique antique opposant les partisans des êtres apparents et ceux des êtres

[95] CLAVELIN, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée*, p. 154-156.
[96] BRUNSCHVICG, Léon*, Les étapes de la philosophie mathématique*, p. 97-98.
[97] POINCARÉ, Henri, *La science et l'hypothèse*, p. 98.

intelligibles[98]. Malgré la forte cohérence de ce narratif métaphysique antique présent dans le *Sophiste* de Platon[99], nous maintiendrons nos deux apories dans un cadre d'analyse restreint, soit comment les distances irrationnelles et l'opposition entre le continu et l'infiniment petit ont déterminé les théories de l'ontologie des mathématiques d'Aristote et du syncrétisme néoplatonicien, puisque l'explication koyréenne s'appuie principalement sur cette opposition et que nous croyons en sa nature structurelle.

La découverte des distances irrationnelles et l'aporie ontologique en découlant s'inscrivent dans le cadre doctrinal de la philosophie de Pythagore et de ses disciples, puisque les problèmes liés aux distances irrationnelles sont clairement associés aux postulats des pythagoriciens concernant la composition du réel à partir des nombres. Cette sensibilité immanentiste aux nombres, c'est-à-dire aux rassemblements d'unité, et à l'un, c'est-à-dire au principe des nombres, était présente avant Pythagore et s'inscrit dans l'utilisation pratique, pour le commerce, et occulte, par exemple pour la prédiction des cycles lunaires, des mathématiques chez les civilisations antérieures[100]. Il semble pourtant accepté, bien que les textes proprement pythagoriciens nous étant parvenus soient extrêmement fragmentaires et qu'il faille bien souvent se référer à Aristote pour comprendre des fragments pythagoriciens[101], que l'association ontologique du monde et des nombres soit une doctrine proprement pythagoricienne suivant la création par les milésiens d'un discours sur l'être premier, que ce soit le feu, l'eau ou les nombres. Cette distinction est primordiale, puisqu'un discours ontologique sur les nombres est nécessaire à l'apparition d'une aporie touchant l'ensemble du réel et liée au domaine des mathématiques. On peut facilement comprendre que l'impossibilité du calcul de π a dû apparaître aux Égyptiens, qui durent recourir à la valeur 3.1605 pour leur mesure d'arpentage circulaire[102], comme une anomalie métrologique relativement grave les ayant poussés à utiliser une autre valeur que 3, comme la plupart des autres civilisations anciennes, malgré les complications calculatoires en découlant. Pourtant les Égyptiens et l'ensemble des mathématiciens prépythagoriciens ne voyaient assurément pas un drame ontologique dans l'existence de nombres pratiquement

[98] TATON, René, *La science antique et médiévale: Des origines à 1450,* p. 210-219.
[99] PLATON, *Le Sophiste*, 242c-243b, p. 139-140.
[100] MAZIARZ, Edward A., GREENWOOD, Thomas, *Greek Mathematical Philosophy*, p. 4-6.
[101] *Ibid.*, p. 11.
[102] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450,* p. 35.

irreprésentables, puisqu'ils ne croyaient pas trouver une explication intégrale du réel dans les nombres et les figures.

Les implications de cette découverte pour les pythagoriciens étaient au contraire d'un ordre systémique, puisqu'ils croyaient pouvoir emboîter leur connaissance du sensible à leur connaissance des formes, grâce à la géométrie, et ensuite leur connaissance des formes à leur connaissance des nombres, grâce à l'arithmétique, le tout formant un discours intégral sur le monde fondé dans les savoirs mathématiques[103]. Cette thèse ontologique, qui perdure encore aujourd'hui à travers les nuées de mathématiciens croyant en l'existence réelle d'êtres mathématiques[104], certainement plus complexes que les nombres pythagoriciens, est le fondement historique des interprétations postérieures que feront Platon et les néoplatoniciens du rapport ontologique entre les mathématiques et la réalité. Cette précision est très importante si l'on veut comprendre l'ampleur de la crise liée à l'apparition des distances irrationnelles pour la cohérence de l'être. En faisant fi des conditions historiques de la découverte de l'irrationalité de certaines distances, on comprend comment l'impossibilité de ramener une distance à un nombre ou de comparer une distance commensurable à un autre distance incommensurable rend problématique la supposition d'une rationalité intégrale du réel sous l'égide des mathématiques. Même les formes les plus simples et les plus vénérées de l'époque antique, le cercle et le carré, se voient contaminées par l'impossibilité pratique d'une mesure exacte de leur circonférence ou de leur diagonale, ce qui laisse dans une situation chambranlante la supposition d'une rationalité *mathématique*, par exemple celle de l'harmonie des sphères fondées sur des cercles essentiellement incommensurables[105]. En somme, l'aporie des distances irrationnelles met fin à une application naïvement réaliste des mathématiques à l'être et fait entrer dialectiquement des suppositions métaphysiques, c'est-à-dire des notions médiatrices, dans l'application du raisonnement mathématique à l'être, par exemple les notions de continu et d'infiniment petit.

---

[103] MAZIARZ, Edward A., GREENWOOD, Thomas, *Greek Mathematical Philosophy*, p. 22.
[104] CORKUM, Phil, *Aristotle on Mathematical Truth*, p. 1061.
[105] MAZIARZ, Edward A., GREENWOOD, Thomas, *Greek Mathematical Philosophy*, p. 52.

Ces deux notions étaient déjà présentes sous un mode non critique chez les pythagoriciens grâce aux concepts de la monade infiniment petite, c'est-à-dire le point-unité qui est l'unité avec une position, et de l'homogénéité des ensembles d'unité-point pouvant tracer la bordure des êtres sensibles et fournissant l'essence des êtres grâce à la mesure du « trait » continu concordant à la forme de chaque être sensible[106]. Malheureusement, l'introduction d'une discontinuité ontologique conceptuellement irrémédiable pour l'époque entre le sensible et les nombres empêcha les pythagoriciens de poursuivre leur inspiration, presque véridique si l'on prend en considération que les définitions modernes, par exemple celle de Cauchy, de la continuité et de l'infiniment petit, se font à partir de la méthode des séries convergentes vers une limite numérique[107]. De plus, cette tendance historique sera renforcée par l'école d'Élée et les quatre paradoxes de Zénon, qui creuseront le fossé séparant les mathématiques de la physique et de l'ontologie. On sait que les éléates tentaient de prouver l'unité et l'immobilité de l'être, qu'ils opposaient à l'apparaître sensible, grâce à la mise en contradiction des théories du monde qui acceptaient le mouvement, par exemple celle d'Héraclite ou d'Empédocle[108]. Plus précisément, Zénon réussit à désunifier l'être et le sensible en montrant comment il semble impossible de faire concorder un lieu, un mouvement et un temps si l'on introduit des notions quantitatives, comme c'est le cas lorsqu'on divise le temps en unité de « maintenant » ou que l'on analyse les distances comme un continuum divisible à l'infini[109].

Par exemple, dans le paradoxe de la flèche, Zénon argumente que si l'on accepte l'existence d'un instant, qui serait l'unité temporelle minimale, il faut considérer qu'une flèche dans chaque instant occupe un lieu qui lui est identique spatialement. Or la flèche occupe une suite de lieux successifs lors de son mouvement, elle *crée* des instants entre les instants durant son mouvement, ce qui implique que chaque lieu doit être attribué à plusieurs instants, ce qui contredit la thèse que chaque lieu est défini essentiellement par l'identité spatiale de la flèche à chaque instant. On se retrouve ainsi devant un choix absurde, soit la flèche ne subit pas de mouvement entre chaque instant, elle est immobile, ce qui nous

[106] *Ibid.*, p. 22-23.
[107] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 273.
[108] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, p. 214-216.
[109] ARISTOTE, *Physique*, 239b-240a, p. 346-348.

permet de maintenir notre définition de lieu, ou bien la flèche se déplace et notre définition de lieu ne peut plus être fondée sur chaque instant de la flèche dans son mouvement, puisque plusieurs instants sont superposés sur chaque lieu[110].

C'est évidemment un manque conceptuel, par exemple la définition d'un instant par un lieu, donc par une *relation*, plutôt que par une variation quantitative minimale, donc par une *propriété* de l'instant, comme chez Newton, qui empêcha les Grecs de résoudre ces paradoxes d'une manière satisfaisante. Or l'effet de cette confusion profonde entre la physique, la métaphysique et les mathématiques sera catastrophique pour l'unité du monde grec tel que l'envisageaient naïvement les pythagoriciens. De cette hétérogénéité théorique entre les apparences sensibles, les principes ontologiques et les raisonnements mathématiques apparaîtront les deux thèses organisatrices les plus influentes de l'histoire occidentale, soit la division des sciences d'Aristote et le syncrétisme mathématico-ontologique des néoplatoniciens.

2.1.2 La division des sciences chez Aristote et sa critique de l'inflation ontologique platonicienne

Le portrait de la philosophie mathématique grecque esquissé ci-haut peut sembler désastreux, mais il rend compte paradoxalement du foisonnement exceptionnel que connut la science mathématique à l'époque classique. On remarque à l'époque de l'Académie de Platon une explosion des techniques et problèmes s'inscrivant dans le corps théorique des mathématiques, effervescence consacrée par la systématisation de la méthode de l'épuisement et de la théorie des rapports entre des distances irrationnelles et rationnelles par Eudoxe. La philosophie de l'époque aura peine à comprendre et à diriger ce flot continu d'innovations mathématiques, qui plus est que la majorité de ces découvertes découle d'une *praxis* mathématique fondée sur une utilisation non critique de la mesure et des liaisons logiques extrêmement différentes du formalisme que l'on supposerait aux ancêtres d'Euclide[111]. Dans ce contexte où les mathématiques prennent le rôle difficilement

---

[110] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 24-25.
[111] MAZIARZ, Edward A., GREENWOOD, Thomas, *Greek Mathematical Philosophy*, p. 82.

assumable de paradigme scientifique, on comprend que Platon ait pu adopter, malgré l'inflexion éthique de sa philosophie due au socratisme, une doctrine ontologique semblable, presque identique au dire d'Aristote[112], à celle des pythagoriciens.

Nous présenterons la doctrine platonicienne telle que comprise par les néoplatoniciens dans la prochaine section, puisque historiquement peu des doctrines de Platon sont parvenues au Moyen Âge et à l'époque moderne sans une interprétation néoplatonicienne postérieure les ayant fortement harmonisées. En plus, il faut souligner la nature multiforme de l'œuvre de Platon concernant l'enjeu du lien entre les mathématiques et le réel, tel que l'illustre admirablement la différence d'approche entre la présentation péjorative de la *République*[113], la mathématisation systématique dans la présentation « très probable » du *Timée*[114] et l'*hubris* ontomathématique qui semble émaner des dogmes non écrits de Platon, comme le montre le témoignage d'Aristoxène sur l'exposition de la nature du Bien par Platon à l'Académie[115]. Pour ces raisons historiques et doctrinales, nous nous contenterons de montrer comment Aristote critique l'ontologie des platoniciens et des pythagoriciens, ainsi que l'influence qu'a cette critique sur la classification des mathématiques par Aristote dans sa division des sciences.

Aristote critique les « partisans des idées », terme qui recoupe les pythagoriciens, Platon et les platoniciens postérieurs, d'une manière constante dans la totalité de son œuvre, puisque le postulat de l'existence séparée des idées comme modèle transcendant déterminant les êtres du monde sensible selon leurs participations à telle ou telle idée rend le monde sensible en soi vide d'intelligibilité et de connaissance. Cette thèse, le sensible comme reflet de l'intelligible, va à l'encontre autant de la méthode inductive d'Aristote en science que de sa distinction ontologique, le couple puissance-acte, et de son équivalence métaphysique, le couple matière-forme[116]. Plus précisément, on peut ramener les nombreuses oppositions d'Aristote à une critique concise, soit la question de l'utilité des idées, puisqu'elles n'apportent rien aux sensibles, à la science ou à l'explication de la

[112] ARISTOTE, *Métaphysique*, 987a30-987b15, p. 91-93.
[113] PLATON, *République*, 533b-533c, p. 387-388.
[114] PLATON, *Timée*, 29a-29c, p. 116-118.
[115] MAZIARZ, Edward A., GREENWOOD, Thomas, *Greek Mathematical Philosophy*, p. 133.
[116] ARISTOTE, *Physique*, 199a, p. 162.

génération et de la corruption[117]. En somme, c'est l'accusation moderne d'inflation ontologique qu'Aristote porte contre Platon ainsi que contre la majorité des penseurs antérieurs, puisque aucun d'eux n'avait saisi l'équivocité de la notion d'être et multipliait les niveaux ontologiques d'une manière aléatoire tandis qu'Aristote les distingue linguistico-logiquement selon que l'on signifie un ceci substantiel, une qualité ou une quantité[118].

Cette critique touche aussi le statut des nombres dans la théorie platonicienne, puisque ces derniers se divisent en nombres idéaux, de la monade, 1, à la décade, 10, et en nombres sensibles jouant un rôle intermédiaire entre les idées paradigmatiques et les choses sensibles[119], rôle qui est inexistant si l'on refuse les duplications ontologiques et la nécessité d'une médiation entre des qualités, des quantités et des substances appartenant rigoureusement au même niveau ontologique[120]. La critique qu'Aristote fait de la doctrine mathématique des platoniciens recoupe beaucoup d'aspects de ses critiques contre les pythagoriciens et se synthétise par le constat qu'ils ont transformé une distinction linguistico-logique en une distinction ontologique, ce qui prête l'être séparé ontologiquement à des choses appartenant à l'être par coïncidence[121]. Pourtant Aristote ne nie jamais la vérité des relations arithmétiques et géométriques, affirmant même que la séparation matérielle, l'opération mentale d'abstraction que fait le mathématicien à partir d'un réel sensible pour obtenir son objet d'étude, peut se faire en maintenant la vérité provenant de la substance sensible dans l'abstraction quantitative que l'on développe[122]. On se retrouve ainsi dans une position intermédiaire, que l'on pourrait de bon droit nommer critique, affirmant le lien instrumental entre les outils mathématiques et la connaissance des êtres sensibles tout en posant la dépendance ontologique des vérités mathématiques à la substance des êtres sensibles.

[117] ARISTOTE, *Métaphysique*, 991a5-15, p. 104.
[118] *Ibid*., 992b15-30, p.109 et 1030a-1030b, p. 239.
[119] MAZIARZ, Edward A., GREENWOOD, Thomas, *Greek Mathematical Philosophy*, p. 139.
[120] ARISTOTE, *Métaphysique*, 990b-991a, p. 102.
[121] *Ibid*., 1077b5-15, p. 410.
[122] ARISTOTE, *Physique*, 193b30-35, p. 125.

En déplaçant le *topos* argumentatif, Aristote permet l'analyse des apories ontologiques dans des sciences séparées et possédant leur propre principe et modalité argumentative. L'intégration de la problématique des infiniment petits et du continu à un discours métaphysique fondé sur l'expérience sensible du continu et adoptant une analyse eudoxienne de la quantité, c'est-à-dire posant que l'ajout ou la suppression d'une quantité, peu importe sa valeur, a un effet réel sur la somme en résultant[123], permet à Aristote de reconstruire les paradoxes de Zénon selon ses propres principes. Par exemple, le paradoxe de la flèche est résolu aisément par Aristote si l'on accepte avec lui que le continu est un principe métaphysique essentiel de la réalité, qu'il est potentiellement divisible à l'infini et qu'aucun minimum temporel ou spatial n'existe, donc que la flèche occupe simultanément un continu temporel et spatial et qu'il y a une concordance dans la réalité entre ces deux continus[124]. Plus simplement, Aristote remarque que la flèche se déplace dans un milieu spatio-temporel homogène et que le mouvement est déterminé en relation avec ce continu, non pas selon une unité minimale de mouvement qui devrait être infini pour correspondre à la nature du continu spatio-temporel, ce qui serait en contradiction avec l'analyse quantitative d'Eudoxe ou bien avec le principe de la finitude d'un mouvement, c'est-à-dire de l'*accomplissement* en acte d'un potentiel. On peut en conclure qu'Aristote a éjecté les considérations géométriques et arithmétiques, nécessitant une unité minimale, de sa réflexion sur le continu et sur le mouvement, puisque ces deux principes sont qualitatifs et fondés sur l'expérience[125].

La même méthode s'applique à l'aporie des nombres irrationnels, puisqu'ils n'existent pas dans la réalité et sont des constructions des quantités abstraites de la substance sensible, ce qui isole la rationalité du discours sur le monde sensible de celui sur les nombres ou les grandeurs. Et comme dans le cas plus haut, Aristote connaît les théories d'Eudoxe l'académicien sur les rapports et souligne que ce sont les rapports entre deux grandeurs, deux nombres ou deux volumes[126] qui peuvent être incommensurables. Dans cette optique, une mesure réelle ne peut pas en soi être incommensurable, puisque les Grecs ne

[123] ARISTOTE, *Physique*, 266b1-5, p. 444.
[124] *Ibid.*, 239b30, p. 346-347.
[125] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 42-44.
[126] ARISTOTE, *Seconds Analytiques*, 74a15-25, p. 91.

connaissaient que les nombres entiers et qu'une mesure réelle doit être analysée, abstraite, selon le principe de la géométrie ou de l'arithmétique pour obtenir une proportion qui serait irrationnelle. Autrement dit, l'irrationalité des distances n'apparaît que lorsqu'on accepte de positionner le problème sous un principe indémontrable précis, l'unité ou le point par exemple, ce qui restreint la portée de l'irrationalité à ces discours spécifiques[127].

Dans cette perspective, Aristote permit l'analyse des nombres et des distances selon et uniquement selon leur propre catégorie[128], ce qui peut être considéré comme un grand mal ou comme un grand bien dans l'histoire des sciences et des mathématiques. En effet, la division stricte que fait Aristote entre les différentes catégories et méthodes des sciences selon son système du monde, c'est-à-dire selon l'hylémorphisme et les différentes opérations linguistico-logiques accessibles aux êtres rationnels, condamne plusieurs intuitions de la pensée antique, qui semblent *a posteriori* les meilleures, parce qu'elles ne respectent pas les distinctions aristotéliciennes ou qu'elles additionnent des segments de différentes sciences qu'Aristote a voulu séparer. Par exemple l'intégration de la géométrie dans l'arithmétique ou l'application des connaissances mathématiques aux autres types de discours, que ce soit physique ou métaphysique, comme voulu par Platon et les pythagoriciens, sont consacrées actuellement dans l'analyse topologique et la physique mathématique comme des sections fondamentales de l'édifice scientifique occidentale. Pourtant, la rigueur méthodologique d'Aristote et la nature systématique des divisions aristotéliciennes permirent des réponses aux apories ontologiques convaincantes pour l'époque et les instruments à leur disposition.

De plus, Aristote permit le déclassement des mathématiques, qui étaient excessivement concrètes, pédagogiques et teintées d'ésotérisme à son époque, comme modèle de la science au profit de l'analyse logique, fournissant ainsi le « sceptre de l'intellect humain »[129] à une méthode rigoureuse qui est sans l'ombre d'un doute la colonne vertébrale de notre histoire scientifique et philosophique. C'est bien dans le cadre de la logique qu'Aristote nous expose dans l'*Organon* qu'Euclide nous légua le modèle que sont les

---

[127] *Ibid.*, 76b1-15, p. 103.
[128] *Ibid.*, 75a18-35, p. 99.
[129] MAZIARZ, Edward A., GREENWOOD, Thomas, *Greek Mathematical Philosophy*, p. 227.

Éléments, bien que la plupart de ces « éléments » mathématiques fussent déjà connus des Grecs du temps de Platon et d'Aristote[130] dans une forme cacophonique et souvent contaminée par le mysticisme et les considérations trop pratiques de la mesure. En somme, la division des sciences condamna l'Occident durant de longs siècles à répéter *ad nauseam* les erreurs d'Aristote, mais permit enfin de sortir d'un discours que l'on pourrait de bon droit nommer non critique, ou essentiellement équivoque pour reprendre la terminologie de l'historien des sciences Amos Funkenstein[131], dans la mesure où aucune approche systématique et aucune logique de différentiation ne permettait de classer et de comparer les différentes connaissances.

2.1.3 Le néoplatonisme et le syncrétisme mathématico-ontologique

Malgré les progrès importants d'Aristote pour distinguer les différentes sciences selon leur principe propre et enfin systématiser la recherche scientifique, lui et son école ne réussiront jamais à faire le pas décisif pour extraire la science et les mathématiques du parallélisme naïf entre la pensée et le monde qui est caractéristique de l'Antiquité. Brunschvicg décrit cette « cristallisation » de la pensée épistémologique grecque en soulignant que :

> L'idée d'une logique qui ferait sortir de l'esprit humain la connaissance des choses, qui engendrerait la vérité par ratiocination pure, a pu, dès la fin du Moyen Âge, être suggérée par le crédit de l'*organum* aristotélicien ; nous avons vu qu'elle est étrangère à la pensée d'Aristote lui-même. C'est sur les données des classifications naturelles, érigées sans doute en entités métaphysiques, que la logique d'Aristote s'est constituée ; elle aura la prétention de mettre de l'ordre dans ces données, d'en dégager par la vertu du mécanisme déductif tout ce qui s'y trouvait implicitement contenu ; mais d'ajouter à ces données, ce n'est nullement en dispenser[132].

Nous pensons que le platonisme et le pythagorisme avant Aristote, bien qu'ils soient porteurs d'une tradition de « ratiocination pure »[133], étaient beaucoup trop rudimentaires dans leurs outils logiques et épistémologiques pour obtenir ce type de vérité que mentionne Brunschvicg et que nous associons, en y ajoutant une finalité descriptive, aux intelligibilités fonctionnelles de la science moderne décrites plus haut. En effet, l'inflation

---

[130] *Ibid.*, p. 241.
[131] FUNKENSTEIN, Amos, *Théologie et imagination scientifique*, p. 39.
[132] BRUNSCHVICG, Léon*, Les étapes de la philosophie mathématique*, p. 96-97.
[133] *Ibid.*, p. 70.

ontologique non critique des penseurs préaristotéliciens nous montre un réalisme naïf qui serait fatal à toutes sciences voulant tendre à la non-équivocité et voulant éviter des associations frauduleuses entre l'expression syntaxique ou mathématique et la réalité.

Il y a plus de 500 ans séparant Aristote de ce que l'on peut nommer consensuellement le néoplatonisme, c'est-à-dire les doctrines s'étant formées à partir des enseignements de Plotin, Porphyre et Jamblique à la fin du III^{e} siècle de notre ère suite à l'impulsion de l'idéal harmonique *transdoctrinal* typique de l'enseignement d'Ammonios Saccas et d'autres penseurs d'Alexandrie, véritable Mecque scientifique et philosophique de l'Antiquité gréco-romaine. On se doit d'établir une certaine gradation entre les siècles pour bien saisir la nature syncrétique du néoplatonisme et son explosion doctrinale, ce que l'on peut approximativement faire en liant des auteurs comme Plutarque, Numénius et Nicomaque de Gérase à une tradition du moyen-platonisme très influencé par le néo-pythagorisme. Vient ensuite la tradition alexandrine qui s'exportera à travers l'empire grâce à Plotin, Porphyre et Jamblique et tentera d'établir une concordance serrée entre les doctrines de Platon, d'Aristote, des anciens sages comme Pythagore ou Orphée et des traditions mystiques comme celles des oracles chaldaïques et des mystères grecs. On peut finalement associer la tradition scolaire et achevée du néoplatonisme à des auteurs du V^{e} et VI^{e} siècle de notre ère comme Proclus et Simplicius chez les païens et Augustin et Boèce chez les chrétiens, puisque ces auteurs sont ceux qui ont matériellement le mieux survécu à la décomposition du monde gréco-romain et qui sont parvenus à la civilisation latine et arabe du Moyen Âge.

Dans la mesure où cette diaspora intellectuelle est énorme et ne peut s'apparenter aux écoles classiques de l'Antiquité grecque par sa grande hétérogénéité, il faut faire des choix pour caractériser le néoplatonisme d'une manière assez rigoureuse pour obtenir une doctrine cohérente du syncrétisme mathématico-ontologique qui correspondrait à sa survivance dans le monde arabe et latin jusqu'à la révolution du XVII^{e} siècle. Pour ce faire, nous exposerons sommairement la doctrine de Nicomaque de Gérase concernant le statut ontologique des mathématiques, car cet auteur est peut-être le plus influent de l'Antiquité à travers le Moyen Âge pour la transmission d'une thèse que l'on peut qualifier de néoplatonicienne. En effet, Nicomaque de Gérase obtiendra une gloire immense dans le monde gréco-romain grâce à son *Introduction arithmétique* et sera ensuite traduit par deux des auteurs les plus influents en mathématique au Moyen Âge, soit par Boèce en latin et par Thabit Ibn Qurra en arabe[134], ce qui fournira à plusieurs de ses doctrines une diffusion exceptionnelle dans le Moyen Âge[135].

On peut sans problème qualifier de similaires les enseignements des livres de Nicomaque et de Boèce[136], comme le souligne Boèce lui-même en affirmant qu'il a suivi le même chemin que Nicomaque dans sa traduction sans toutefois mettre ses pieds dans les mêmes traces que son prédécesseur[137]. La théorie ontologique transmise par ces textes, qui ne sont pas à proprement parler des écrits philosophiques, peut être caractérisée par leur but, c'est-à-dire que pour Nicomaque et Boèce l'arithmétique est le premier chemin pour s'initier à la connaissance en général et permet de comprendre la structure transcendante du monde ainsi que sa composition jusqu'à la sensibilité. C'est dans une inspiration typiquement platonicienne, confirmée par les multiples références à Platon faites par Nicomaque[138] ainsi que par les associations explicatives que nous transmet Boèce concernant la nécessité de l'arithmétique pour la compréhension de la théogonie du *Timée*[139], que s'opère la nomination de l'arithmétique comme mère et créatrice des autres sciences mathématiques et des domaines appliquant le savoir de ces sciences. Bien que l'influence d'Aristote dans l'organisation des textes et dans certaines classifications soit évidente[140], on ne retrouve aucune trace de la division des sciences selon le sujet catégorial typique de l'aristotélisme.

C'est au contraire une théorie proprement néoplatonicienne, puisqu'elle unifie des dogmes pythagoriciens avec leurs équivalents platoniciens, que transmet l'*Introduction* en expliquant la nature génératrice du Même et de l'Autre, c'est-à-dire de la monade et de la dyade, dans l'organisation et le fondement de l'être. En somme, on constate une transmission de la tradition pythago-platonicienne accordant aux nombres une place déterminante dans l'ordre ontologique du monde et des intelligibles, comme l'affirme sans

---

[134] BERTIER, Janine, *Introduction*, dans NICOMAQUE DE GÉRASE, *Introduction arithmétique*, p. 7-9.
[135] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 312.
[136] GUILLAUMIN, Jean-Yves, *Introduction*, dans BOÈCE, *Institution Arithmétique*, p. XLIV.
[137] BOÈCE, *Institution Arithmétique,* préface, 4, p. 3.
[138] NICOMAQUE DE GÉRASE, *Introduction arithmétique*, II, 11, p. 131.
[139] BOÈCE, *Institution Arithmétique*, II, 46, p. 153.
[140] GUILLAUMIN, Jean-Yves, *Introduction*, dans BOÈCE, *Institution Arithmétique*, p. LII.

ambiguïté Boèce en déclarant que : « Tout ce qui a été édifié par la nature en son premier âge apparaît formé selon le système des nombres. Car tel a été le premier modèle dans l'esprit du créateur. C'est ce système qui est l'origine de la pluralité des quatre éléments, l'origine de la succession des temps, du mouvement des astres et des révolutions du ciel »[141]. On retrouve dans cette présentation du cosmos et de la place des nombres un réalisme typiquement pythagoricien où les nombres occupent à la fois le rôle de modèle intelligible et de voie d'accès aux autres intelligibilités. Dans cette perspective, on comprend que les néoplatoniciens évitent l'écueil de l'incommensurabilité des grandeurs en soumettant les réalités géométriques à des relations arithmétiques composées uniquement des nombres naturels et des rapports composés par ces nombres. Autrement dit la subalternation radicale de la géométrie aux principes de l'arithmétique et l'écart ontologique séparant les nombres des distances sensibles permettent d'éviter les apories ontologiques en limitant la contagion de l'irrationnel à l'accomplissement sensible des distances géométriques. Cette technique de médiation des niveaux ontologiques permettant d'adoucir la transition entre l'intelligible et le sensible est typique du néoplatonisme et permet de maintenir la primauté de l'arithmétique sur le monde intelligible ainsi que sur les autres sciences émanant des nombres, mais perdant peu à peu leur *transparence* au contact des niveaux ontologiquement inférieurs. Loin d'être une litanie répétée mécaniquement par Boèce dans le cadre de sa traduction de Nicomaque, on retrouve la même ontologie dans la *Consolation de philosophie* de Boèce[142], ce qui confirme la continuité de cette tradition néoplatonicienne dans une partie substantielle du legs antique parvenu au Moyen Âge latin.

Pour conclure l'analyse de la tradition antique, nous soulignons l'importance capitale du livre de David Rabouin sur la tradition néoplatonicienne en philosophie des mathématiques[143] et nous affirmons avec lui une double tradition des enseignements néoplatoniciens qui auront une histoire et une influence différente après l'Antiquité. En partant de l'opinion maintenant largement acceptée concernant l'influence souveraine de

[141] *Ibid*., p. 11.
[142] BOÈCE*, La Consolation de Philosophie*, p. 175, livre 3, métrique 9.
[143] RABOUIN, David, *Mathesis Universalis : L'idée de « mathématique universelle » d'Aristote à Descartes,* p. 129-191.

la philosophie mathématique d'Aristote et de la tradition néoplatonicienne des mathématiques débutant avec Nicomaque sur le Moyen Âge, Rabouin raffine cette grille de lecture pour y rajouter une division dans l'enseignement néoplatonicien qui est primordial dans le contexte d'une analyse de la thèse de la filière néoplatonicienne koyréenne. En effet, Rabouin parcourt l'histoire du concept de mathématique universelle tel qu'il apparaît chez Descartes et Leibniz pour en trouver la source chez Aristote et dans un commentaire sur les *Éléments* d'Euclide rédigé par le maître néoplatonicien Proclus. Ce commentaire, typique de la tradition scolastique néoplatonicienne, c'est-à-dire de la nature systématique et scolaire de l'enseignement et des doctrines des néoplatoniciens athéniens, concerne le livre 1 des *Éléments* et s'interroge sur la place accordée aux principes des mathématiques par rapport à la logique dans l'ordre de la connaissance.

Rabouin y constate une réponse novatrice à la question aristotélicienne de l'universalité de certaines analyses mathématiques malgré leur nature spécifique découlant de leur objet particulier, par exemple lorsque Aristote utilise la théorie des proportions eudoxiennes dans sa métaphysique du continu ou lorsqu'il présente la démonstration universelle dans les *Seconds Analytiques* uniquement avec des arguments mathématiques[144]. Bien que la réponse de Proclus à ce problème soit pertinente pour l'histoire de la philosophie des mathématiques, puisqu'elle donne le rôle de moteur à l'imagination dans l'utilisation des mathématiques comme méthode d'intégration et d'organisation des connaissances, elle concerne un enjeu différent, l'existence des mathématiques universelles, de notre questionnement sur l'application pratique des mathématiques. C'est plutôt le constat historique mis en lumière par Rabouin qui possède une grande valeur et nous permettra plus tard de tracer certains parallèles dans le processus d'intégration des données doctrinales du passé dans des cadres scolastiques définis. Rabouin constate en effet que la tradition néoplatonicienne que nous étudions en détail, c'est-à-dire celle partant de Nicomaque et influençant l'ensemble du monde latin grâce à Boèce, doit être différenciée de celle qu'il expose et qui se fonde dans les travaux d'exégèse et d'harmonisation très techniques de Proclus sur les écrits d'Aristote et d'Euclide par rapport aux dogmes platoniciens. Rabouin constate la réapparition du traité de Proclus à la fin du XVI^{e} siècle

[144] *Ibid.*, p. 75.

chez les scientifiques du début de l'époque moderne, ainsi que son instrumentalisation dans le débat sur la certitude des mathématiques entre les tenants des doctrines aristotéliciennes et platoniciennes[145]. De cette revitalisation des réponses de Proclus à la fin du XVIe siècle découlent directement la vision cartésienne d'une mathématique universelle ainsi que l'intégration efficace de l'apriorisme platonicien dans le schéma aristotélicien des sciences encore dominant dans les universités du XVIe siècle. Cette précision est primordiale pour notre thèse, puisqu'elle illustre comment les doctrines néoplatoniciennes, selon leur difficulté et les contingences des époques, se sont intégrées et ont eu une fécondité sur une période beaucoup plus grande que le XVe-XVIe siècle et dans des lieux indépendants de l'épicentre italien du néoplatonisme représenté par Nicolas de Cues et Giordano Bruno. En conclusion la thèse mathématico-ontologique des néoplatoniciens possède une profondeur technique comparable au courant philosophique lui-même et ne peut absolument pas être prise dans un bloc pour expliquer l'appropriation et le dépassement dans le monde latin de la science grecque. De multiples ressorts sont en jeu dans ce dépassement et un lien causal entre une révolution philosophique liée au néoplatonisme et la révolution scientifique galvaude irrémédiablement le fait de structure que représente le débat, déjà bimillénaire au XVIIe siècle, entre l'utilisation spécifique des mathématiques sous l'égide de la logique proposée par Aristote et l'utilisation architectonique qui émane des traditions néoplatoniciennes.

2.2 La scolastique et sa tradition tardive

Maintenant que le premier point, c'est-à-dire la mise en évidence de l'explosion doctrinale et de la *durée* de l'action médiatrice du néoplatonisme, qualifiant l'influence de la « filière néoplatonicienne » dans l'apparition des intelligibilités fonctionnelles est campé sur des bases solides, passons au point d'embarras. Bien moins étudié que l'influence de la tradition néoplatonicienne sur la révolution scientifique, la place de la scolastique latine dans l'histoire de la révolution scientifique occidentale est pourtant, de notre avis, le facteur le plus déterminant pour la compréhension de la spécificité occidentale dans la pratique scientifique et dans le dépassement du savoir scientifique de l'Antiquité. Bien que la

[145] *Ibid.*, p. 226.

tentative faite par Pierre Duhem d’expliquer la révolution scientifique à partir de certaines spécificités théologiques et cosmologiques du monde latin n’ait pas résisté à l’épreuve des faits, il faudrait avoir une vision bien étrange de la connaissance pour croire que la réception de certains écrits des Grecs ait généré une rupture avec la pratique scientifique de l'époque et un dépassement des connaissances grecques dans l’Occident latin. L’axiome néoplatonicien posant que la compréhension dépend des capacités du connaissant plutôt que de la force des objets connus nous semble particulièrement approprié dans notre situation[146]. Il semble que la construction historiquement déterminée d’un milieu permettant la réception des objets philosophiques et scientifiques de l’Antiquité et du monde arabe soit nettement plus importante dans le foisonnement scientifique qu’a connu l’Occident que la force relative de certaines théories par rapport à d’autres, surtout quand ces forces sont jugées *a posteriori* des centaines d’années plus tard. Il faut donc se questionner sur le *processus* d’intégration des connaissances antiques en Occident durant le Moyen Âge pour espérer dépasser les problèmes mis en avant dans les narratifs très événementiels de l’épistémologie contemporaine sur la révolution scientifique du XVII^e^ siècle.

Nous atteindrons cet objectif en suivant un cas bien particulier de l’intégration en Occident du savoir antique et arabe, soit la place de la théorie des rapports du livre 5 des *Éléments* d’Euclide dans l’assimilation de la problématique de l’évaluation du mouvement selon la force du moteur, la résistance du mobile et la rapidité du mouvement. Cette piste nous permettra d’observer un cas exemplaire d’assimilation progressive d’une théorie antique et des outils mathématiques permettant sa justification tout en soulignant comment l’aristotélisme et le néoplatonisme se trouvaient dans un rapport symbiotique dans certains pans de la philosophie naturelle scolastique. Cette courte récapitulation contextualisera l’apport de l’école des *Calculatores* oxfordiens du XIV^e^ siècle, plus précisément de Thomas Bradwardine, dans notre caractérisation du processus d’assimilation du savoir grec dans le monde latin tout en mettant en avant le développement de la mathématique expérimentale durant cedit processus, à notre avis une des constantes structurelles expliquant la révolution scientifique. L’explication intégrale du processus que nous allons

[146]DE LIBERA, Alain, *L’art des généralités : Théories de l'abstraction*, p. 244.

décrire schématiquement est un travail d'une ampleur beaucoup trop grande pour être à notre portée dans la cadre de cette recherche, nous nous référerons donc à des autorités dans la recherche en sciences médiévales qui permettent d'avoir une vision précise des différents points du chemin que nous traçons d'une manière malheureusement simplifiée. En somme, il s'agit de comprendre comment la rigidité ontologique et épistémologique des connaissances antiques, fondée sur la contemplation de réalité indépendante de l'action humaine, a pu s'amoindrir en Occident pour laisser place à une vision de la connaissance qui implique l'acte et la création humains, comme dans le cas de la mathématique expérimentale et des intelligibilités fonctionnelles.

2.2.1 La lecture critique des anciens comme constante fondamentale de la scolastique

Un des points les plus importants permettant de caractériser la scolastique latine est son rapport proprement *philosophique* aux écrits d'un auteur, c'est-à-dire qu'elle se positionne par rapport à la doctrine présentée dans les textes assignés à un auteur et selon les interprétations fournies par les commentateurs de cet auteur. C'est dans un modèle similaire aux commentaires des néoplatoniciens, dont un prototype est fourni par les commentaires de Boèce conservés en Occident, et des savants arabes, arrivant progressivement avec le phénomène du *transfert des études*, que se développe et s'intègre la culture doctrinale grecque en Occident. Par proprement philosophique, nous voulons souligner la relation anhistorique que les penseurs scolastiques entretiennent par rapport aux doctrines qui apparaissent en Occident, c'est-à-dire que les doctrines sont classées sous une autorité philosophique permettant de comprendre et de déduire leur portée. Alain de Libera décrit ce phénomène de classification des connaissances lorsqu'il dit que : « Dans la caractérisation d'une philosophie, les scolastiques utilisent une méthode d'assignation qui est précisément an-historique, puisqu'elle repose sur une distinction conceptuelle, qui laisse peu ou pas de place à la préoccupation érudite, philologique ou historique attentive aux influences, genèses et autres filiations réelles »[147].

[147] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 364.

Par exemple, on peut prendre l'intégration de la théorie de l'intellect agent d'Avicenne à un corpus affilié à la doctrine d'Aristote sur l'âme et l'intellect, ce qui omet complètement la forte filiation néoplatonicienne des doctrines hypostatiques de l'intellect agent dans son acte contemplatif et prête à Aristote des doctrines et un ensemble de problèmes qui sont évidemment liés aux émanations néoplatoniciennes beaucoup plus qu'à la doctrine de l'intellect d'Aristote. Ce phénomène est encore plus flagrant dans le cas d'Alexandre d'Aphrodise[148], que l'on peut qualifier de commentateur orthodoxe de la doctrine d'Aristote en le comparant aux nombreux commentateurs néoplatonisants, que le traitement médiéval assimile à un philosophe matérialiste éloignant Aristote de son crédo platonicien. Cette accusation provient elle-même du péripatéticien néoplatonisant, presque malgré lui, qu'est Averroès et rend parfaitement compte de la nature réalisée du syncrétisme voulu par les néoplatoniciens de l'Antiquité tardive. On lit Aristote grâce à Averroès et Platon grâce à Boèce, Augustin et Chalcidius, ce qui laisse voir comment l'ensemble des doctrines grecques font leur entrée en Occident sous la forme d'un syncrétisme consommé ne permettant plus une distinction factuelle des doctrines, mais plutôt un classement selon les problèmes à résoudre et les voies argumentatives prises durant la résolution. Il faut en plus ajouter à cette masse philologiquement indistincte de textes et de commentaires un foisonnement de textes apocryphes et composés à partir de plusieurs auteurs différents de plusieurs époques. On comprend facilement qu'avec un tel amalgame doctrinal les philosophes scolastiques opéraient leur classification et leur recherche philosophique d'une manière systématique selon les thèses, les autorités et les contre-thèses pouvant être soulevées. Ce n'est donc qu'en partie à cause de la structure disputative et didactique de leur activité philosophique que la majorité des scolastiques utilisaient une méthode d'exposition systématisée comme celle de Thomas d'Aquin dans la *Somme théologique* ou bien celle des *Quodlibeta* de Jean Duns Scot. Une autre justification de cette méthode très analytique est l'état inconsistant des différentes doctrines héritées du monde grec et du monde arabe, puisqu'elles entremêlent des thèses et des auteurs qui sont parfois diamétralement opposés dans certains cas et conciliables dans d'autres.

[148] *Ibid.*, p. 363.

On conçoit aisément à partir de ces remarques comment la scolastique latine se dissocie dans son traitement des auteurs antiques de l'image servile que l'on aurait tendance à lui attribuer. Elle profite en plus d'une des fleurs tardives provenant de la philosophie en terre d'Islam, soit la méthode du grand commentaire consacré par Averroès dans son traitement des différents traités d'Aristote[149]. Cette méthode reprise par les scolastiques latins après Thomas d'Aquin aura le mérite de systématiser la pratique déjà courante du commentaire et aidera grandement l'assimilation des connaissances de l'Antiquité sous une forme de moins en moins éclectique. Ce point est des plus importants puisque, pour rendre le matériel philosophique provenant du *transfert des études* vivant, c'est-à-dire pour faire sortir les doctrines et les thèses de leur contexte gréco-arabe et les acclimater au contexte latino-chrétien, un art particulièrement efficace de *découpage* était nécessaire. Ce processus de distinction et d'appropriation des thèses nécessite un découpage, littéralement une désharmonisation, du legs gréco-arabe et son rattachement à la tradition proprement latine.

Il va sans dire que ce processus sera très long et périlleux, comme on peut le voir avec la réception faite des *Éléments* d'Euclide. Bien que traduits dès le début de la période abbasside et maîtrisés rapidement par les mathématiciens arabes, comme le démontre l'amélioration faite par Al-Khwarizmi de l'arithmétique grecque grâce à l'introduction de la position des nombres dans les méthodes de calcul ainsi que du système décimal indien[150], la majorité des *Éléments* resteront un legs mort pour le monde latin durant une grande partie du Moyen Âge. La première traduction largement utilisée en Europe est celle d'Adélard de Bath produit durant le XII^e^ siècle simultanément à plusieurs autres textes majeurs de l'héritage gréco-arabe, par exemple l'*Almageste* de Ptolémée et le *Liber Ysagogarum* d'Al-Khwarizmi[151]. Un fait classique démontrant comment un écart de niveau dans certains pans de la connaissance peut ralentir et même faire disparaître des siècles de travaux scientifiques est justement celui de la transmission des connaissances mathématiques entre l'Orient et l'Occident. Très loin de posséder un ensemble aussi complet des textes grecs

[149] *Ibid.*, p. 162.
[150] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450,* p. 476.
[151] *Ibid.*, p. 591.

que les Arabes, les Latins faisaient reposer leur culture mathématique sur les diverses institutions de Boèce et quelques fragments obtenus dans différents textes ayant comme fonction la transmission du savoir antique. Cet analphabétisme mathématique fut réglé durant les 400 années d'assimilation entre les traductions de Tolède et celle du XVIe siècle et bloqua la transmission des nombreuses découvertes arabes disponibles et *vivantes* durant le XIIe siècle, ce qui força les Européens à redécouvrir des méthodes et des théories déjà disponibles aux traducteurs durant le XIIe siècle. Par exemple la méthode du calcul de certaines intégrales par la sommation d'une série géométrique par Thabit ibn Qurra disponible depuis le IXe siècle dans le monde arabe, peut-être accessible par une traduction de Gérard de Crémone[152], devra attendre le XVIIe siècle pour être redécouverte par Fermat[153]. En l'absence des capacités du connaissant Européen à assimiler les travaux arabes, des théories qui auraient bien pu faire avancer la science européenne nettement plus rapidement furent laissées de côté, principalement à cause de la méconnaissance des classiques grecs par les Latins et malgré la disponibilité physique de plusieurs de ces classiques à partir du XIIe siècle[154].

De plus, plusieurs erreurs de compréhension se sont intégrées au corpus euclidien et ne furent soulignées que très longtemps après, par exemple dans le cas des définitions 4 et 5 du livre V des *Éléments* qui furent généralement interprétées au Moyen Âge comme touchant directement des rapports entre des nombres, ce qui rendait la totalité du livre V, qui rappelons-le est un livre proprement géométrique, donc traitant des rapports entre des distances, redondant par rapport au livre VII traitant des rapports numériques[155]. Même la traduction et le commentaire fait par Campanus de Novare, qui contient pourtant un commentaire antique de Théon d'Alexandrie sur le livre V expliquant avec justesse le critère eudoxien de la commensurabilité entre deux distances dont une peut dépasser l'autre grâce à sa multiplication par un autre nombre naturel ($\forall x, y \in N$, $\exists n \in N * \mid nx \geq y$), fut mécompris et utilisé jusqu'au XVe siècle d'une manière erronée. Malgré la possibilité matérielle et intellectuelle d'assimiler les connaissances mathématiques grecques, comme

152 MOLLAND, George, *Roger Bacon Knowledge of Mathematics*, dans *Roger Bacon and the Sciences*, p. 161.
153TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, p. 488.
154 BOYER, Carl B., *TheCconcepts of the Calculus*, p. 64.
155 DRAKE, Stillman, *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*, Vol. 3, p. 67.

le prouve l'exemple de Robert Grosseteste qui interpréta avec justesse le commentaire de Théon au début du XIII^e siècle[156], une gêne dans la pratique des sciences mathématiques rendra le legs euclidien difficilement dépassable. Encore une fois c'est un problème de *découpage* beaucoup plus qu'un manque d'intérêt, de talent ou de pratique mathématique chez les Latins qui causa cette lente assimilation. La tradition européenne, basée majoritairement sur l'*Institution* de Boèce, était foncièrement numérique, pour ne pas dire néo-pythagoricienne, dans son approche des problèmes de mise en rapport, ce qui les mena à réduire les rapports de distances à des cas spécifiques de rapports numériques. En voyant les mathématiques sous un prisme numérique plaçant l'arithmétique comme science mathématique première, la tradition européenne prit une éternité à assimiler la spécificité de la mise en rapport entre des distances, ce qui va sans dire éloigna sa compréhension de la rationalité des distances et des nombres des avancées grecques sur le traitement des grandeurs irrationnelles ainsi que sur le traitement infinitésimal du continu. Autrement dit, en étant *de facto* trop néoplatoniciens dans leur compréhension des distances en mathématiques, les Latins se trouvaient très éloignés d'une compréhension ingénue des problématiques mathématico-ontologiques affrontées chez Aristote et dans les *Éléments*.

En somme, ces deux exemples montrent à la fois comment le processus de transmission et d'assimilation des connaissances fut long et comment la tradition harmonique autant chez les Latins que chez les Arabes rendit le legs antique indistinct et difficile à utiliser durant le Moyen Âge. Pourtant les différents savants réussirent peu à peu à rendre vivants certains segments en les découpant de leur interprétation traditionnelle, comme ce fut le cas justement avec la théorie des rapports du livre V, puisqu'elle donna naissance à une tradition interprétative du livre 7 de la *Physique* d'Aristote qui, comme nous le verrons, rendra une section déterminante, pour l'histoire des mathématiques et des sciences plus largement, du legs euclidien particulièrement vivante durant la fin du Moyen Âge et le début de l'époque moderne. Ce cas particulier de ce que nous nommons la lecture critique des anciens par la scolastique tardive nous permettra de comprendre comment le processus d'intégration de la connaissance antique dans l'Occident latin a pu entraîner l'apparition des méthodes ouvrant la voie à celle des intelligibilités fonctionnelles dans un contexte

[156] MOLLAND, George, *Roger Bacon Knowledge of Mathematics*, dans *Roger Bacon and the Sciences*, p. 167.

entièrement différent de celui de l'époque moderne. Reste à caractériser doctrinalement le début du XIVe siècle pour comprendre la provenance ainsi que la portée restreinte des avancées méthodologiques faites à cette époque et s'inscrivant encore dans la lecture critique des anciens plutôt que dans l'élaboration d'une théorie descriptive et mathématique des phénomènes naturels.

2.2.2 La tradition oxonienne et la scolastique tardive (Bacon, Ockham et Burley)

Trois facteurs doivent être considérés pour comprendre l'apparition avec Bradwardine et la tradition oxfordienne d'une piste médiévale pour la méthode des intelligibilités fonctionnelles, soit l'apparition d'une forte tangente mathématico-logique dans la pratique philosophique anglaise du XIIIe et XIVe siècle, l'apparition d'une méthode de lecture déflationniste et sémantique de la philosophie ainsi que la plus grande fluidité méthodologique dans plusieurs pans de la philosophie fondée sur la lecture critique des anciens, phénomène lui-même renforcé par ces deux nouvelles approches. Nous caractériserons chacun de ces points grâce à un auteur anglais particulier, bien que nous croyions en la généralité de ces considérations dans la scolastique tardive. Il faut aussi spécifier que Thomas Bradwardine, qui peut de bon droit être nommé le premier innovateur reconnu derrière la tradition des *Calculatores*, est contemporain de plusieurs de ces changements structurels de la philosophie scolastique. Bien qu'il puisse se placer en neutralité face à certains de ces aspects, surtout le tournant terministe de la scolastique qui le touchera relativement peu, il est indéniable que ses successeurs, autant William Heytesbury que Richard Swineshead[157], furent directement des produits de ces trois facteurs et contribuèrent grandement à la particularité de l'école oxfordienne du XIVe siècle.

Ce qui peut être qualifié de tournant mathématico-logique en Angleterre durant le XIVe siècle semble prendre ses racines dans une forte tradition franciscaine, ordre religieux placé sous le patronage d'Augustin, ainsi que dans l'influence de l'école de Chartres, très liée aux écrits de Boèce et des différentes influences médio et néo platoniciennes, qui posséda

[157] SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators and the Mathematics of Motion, 1320-1350: Physics and Measurement by Latitudes,* p. 51.

une chaire à Canterbury en Angleterre[158]. On doit pourtant affirmer que la tradition native de l'Angleterre est platonicienne beaucoup plus par mysticisme patristique que par position doctrinale[159] et qu'il faudra attendre l'intégration du péripatétisme gréco-arabe ainsi que les travaux mathématiques et optiques des auteurs arabes, par exemple Alhazen et Thabit ibn Qurra, pour voir apparaître des figures présageant le XIVe siècle, par exemple Robert Grosseteste. Il est aussi primordial de souligner qu'à la différence de l'école parisienne où le péripatétisme fut combattu avec acharnement durant le XIIIe siècle, l'université d'Oxford démontra moins d'hostilité pour la philosophie naturelle d'Aristote[160]. Ce phénomène peut être expliqué par plusieurs facteurs, par exemple l'*auctoritas* moindre de l'université d'Oxford par rapport à celle de Paris quant au maintien de la théologie catholique. Le facteur qui semble pourtant le plus important pour nous est celui de la primauté bien établie d'Augustin et de Boèce à Oxford, puisque la philosophie d'Aristote trouva des autorités philosophiques divergentes et solidement ancrées dans l'institution pour tempérer la force de la vague péripatéticienne[161]. On peut facilement qualifier Roger Bacon, philosophe natif d'Angleterre et maître d'école parisien à la fin de la première moitié du XIIIe siècle, comme caractéristique de cette tradition Francisco-chartraine qui sous l'influence de la science gréco-arabe prit des positions épistémologiques novatrices quant à la valeur de la logique et des mathématiques en philosophie. Par novatrice, nous voulons souligner l'appropriation et la transformation de la science gréco-arabe en une tradition proprement européenne, par exemple par l'application massive de la sémiotique dans la logique et la théorie du discours par Bacon[162] ou bien sa vision instrumentale des mathématiques inspirée par l'abstractionnisme aristotélicien et par les applications pratiques de la géométrie dans l'optique d'Alhazen[163].

Loin de se positionner comme un pourfendeur ou un fanatique du savoir païen et musulman, Bacon prend une position conciliante face aux nouvelles théories de

[158] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, p. 589.
[159] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 314-315.
[160] BROWN, Stephen F., *The Reception and Use of Aristotle's Works*, dans *Aristotle in Britain during the Middle Ages*, p. 353.
[161] *Ibid*., p. 361.
[162] DE LIBERA, Alain, *Roger bacon et la logique*, dans *Roger Bacon and the Sciences*, p. 121.
[163] MOLLAND, George, *Roger Bacon Knowledge of Mathematics*, dans *Roger Bacon and the Sciences*, p. 171.

philosophie naturelle. Ce phénomène semble dépendre d'une volonté d'harmonisation entre les sources de la tradition francisco-chartraine et les nouvelles doctrines, ce qui confirme autant l'autorité des auteurs néoplatoniciens comme Boèce et Augustin que la compréhension profonde dans la tradition anglaise du syncrétisme, historiquement évident, mais terriblement confus à leur époque, entre leur tradition et le péripatétisme gréco-arabe. Un exemple simple pour soutenir notre explication du tournant logico-mathématique et de ses causes est celui de la nature mathématique de la musique chez Bacon, puisqu'il utilise les analyses du mouvement, plus précisément la division d'un mouvement continu en entités quantifiables[164], tirés de la *Physique* d'Aristote pour renforcer la théorie augustinienne analysant la musique comme une combinaison de mouvements visibles, donc quantifiables, et de sons correspondants. Cet exemple type trouve des analogues dans l'ensemble du corpus baconien et nous indique clairement les tenants du tournant logico-mathématique à Oxford.

L'importance mise sur l'analyse sémantique et syntaxique en logique et en théologie est sans aucun doute le facteur le plus déterminant pour qualifier la tradition de la scolastique tardive, qu'elle soit parisienne ou oxfordienne. C'est en effet ce tournant linguistico-logique, qui permettra le développement d'une méthode et d'un ensemble de théories proprement latines, par exemple la théorie des conséquences découlant des *Topiques* qui créa l'espace conceptuel dans lequel prennent place les jeux dialectiques d'obligations et les écrits de traitement des sophismes[165], tout en vivifiant les doctrines scientifiques et philosophiques du legs gréco-arabe. Il est clair que la contribution autochtone la plus significative à la vitalité de la philosophie latine est l'ensemble de règles et distinctions logico-sémantiques regroupé sous le nom de « logique des modernes » qui anima les débats universitaires à Oxford et à Paris dès le début du XIII^e^ siècle, comme on peut facilement le constater au XXI^e^ siècle par la présence du fameux « de l'impossible on conclut n'importe quoi » dans tous les cours de logique en philosophie, en mathématique ou en informatique. Cette particularité latine, obtenue après des siècles de rumination des écrits de logique et de grammaire disponibles en Occident, permit le développement d'une manière proprement

[164] VAN DEUSEN, Nancy, *Roger Bacon on Music*, dans *Roger Bacon and the Sciences*, p. 236.
[165] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 394-396.

européenne de faire de la philosophie, peut-être plus, nous croyons, que les dogmes de la théologie chrétienne.

Un exemple de cette tendance est la doctrine ontologique et linguistique de Guillaume d'Ockham que l'on peut résumer par l'idée que l'existence ne peut être attribuée qu'à des êtres ou à des relations entre des êtres présents dans le monde naturel[166]. Cette doctrine s'oppose aux doctrines largement répandues en philosophie à l'époque d'Ockham qui attribuait l'être à différents mots, concepts et relations qui ne possédaient pas de rapport avec la réalité naturelle et particulière, en gros ce que l'on nomme les écoles réalistes du Moyen Âge. Tout comme Aristote critiquait ses prédécesseurs pour leurs inflations ontologiques fondées sur des équivocités logico-sémantiques, Ockham lança une croisade contre les différents penseurs de son époque commettant le même type d'erreur, impardonnable dans leurs cas puisqu'ils se réclamaient presque tous de l'analyse aristotélicienne des concepts transmis par le *De l'interprétation* ainsi que par Porphyre et Boèce. Ce minimalisme ontologique radical exprimé par Ockham et repris dans des degrés moindres par plusieurs *Calculatores* et maîtres parisiens montre parfaitement comment la scolastique tardive déplaça son *topos* argumentatif de la métaphysique réaliste des formes vers une sémantique des objets naturels et de leur classification qui permettait une redéfinition de l'être et de l'accès à la connaissance d'une manière très large.

Bien que Ockham soit un représentant d'un courant qui peut facilement remonter jusqu'à Pierre Abélard, la force de son argumentaire et les implications qu'elle possède pour la philosophie en général est un archétype du dépassement philosophique du legs gréco-arabe qui fut fait en Occident latin à cette époque. Loin d'argumenter simplement dans les cadres du péripatétisme gréco-arabe, Ockham et ses successeurs revivifièrent la théorie nominaliste en germe chez Aristote pour lui donner une portée ontologique nouvelle qui brisa la cristallisation qu'avaient subie l'ontologie et l'épistémologie depuis la période hellénique. Amos Funkenstein rend bien compte de la flexibilité que nous voyons percoler à partir d'une position ontologique novatrice vers les autres domaines scientifiques, qui

[166] *Ibid.*, p. 430.

obéissaient à des structures d'autorités rigides depuis plus de 1500 ans, lorsqu'il souligne que :

> Nous rappelons que, pour Ockham, les notions mathématiques étaient totalement connotatives. L'extension, le nombre, le temps et le degré étaient des concepts portant sur des relations entre les singuliers plutôt qu'ils ne désignaient des objets singuliers ou leurs propriétés absolues. Ce genre de notions connotatives, si elles étaient construites sans redondances, n'étaient pas dépourvues d'un *fundamentum in re,* d'un fondement réel, mais ne devaient pas non plus être hypostasiées. Les terministes cessèrent donc de voir dans les mathématiques un inventaire d'objets mathématiques avec leurs propriétés absolues ; c'était là une condition nécessaire, mais non pourtant suffisante, pour que se développe la conscience de la nature formelle des expressions mathématiques[167].

La dernière tendance doctrinale qui peut caractériser la tradition oxfordienne est celle de l'amollissement de la méthodologie et de l'autorité aristotélicienne, par exemple sa division stricte des sciences et de leurs principes, son interdit de transposer un énoncé sur un objet selon une catégorie dans une autre catégorie et sa conception de la démonstration viable en science selon la valeur de vérité des prémisses. Cet affaiblissement est d'une importance capitale puisqu'elle se produit dans des cadres théoriques qui sont ceux du péripatétisme gréco-arabe, donc d'un donné doctrinal foncièrement aristotélicien, en physique, en mathématique et en métaphysique.

On observe en effet plusieurs lieux théoriques où les questions qu'Aristote expose, comprises à travers les commentateurs gréco-arabes, sont traitées avec des variations méthodologiques substantielles. Ce phénomène d'amollissement méthodologique dans la philosophie arabe et scolastique incarne ce que nous nommons la lecture critique des anciens, puisque les théories de la tradition philosophique grecque sont analysées à travers le prisme des différentes interprétations et contre-interprétations fournies selon les époques et les lieux du Moyen Âge. Loin de nous l'idée de mettre en doute la cohérence interne du prisme de lecture des anciens développé durant le Moyen Âge, l'intention étant ici de mettre en lumière son externalité par rapport au milieu même dans lequel il se développe, soit le péripatétisme. On confirme ainsi l'idée de De Libera selon laquelle l'extension que gagnent les doctrines d'Aristote, à partir de leur intégration au néoplatonisme du III^{e} siècle de notre

[167] FUNKENSTEIN, Amos, *Théologie et imagination scientifique,* p. 354.

ère jusqu'au syncrétisme consommé qui émane de la philosophie latine et arabe, leur a fait perdre ce qui les définissait essentiellement comme aristotélicienne, soit la méthodologie épistémologique sous-jacente aux autres pans doctrinaux, que ce soit la métaphysique des formes, l'éthique contemplative ou l'analyse physique des mouvements astraux.

Cette extériorité involontaire de la tradition médiévale par rapport à son terreau doctrinal peut s'illustrer par, entre autres, le problème de la variation d'une qualité et nous permet de comprendre comment, sans qu'il y ait un changement méthodologique radical et une distanciation assumée des autorités, les nouvelles variations techniques introduites grâce au phénomène de lecture critique des textes anciens à travers le transfert des études ont permis l'aménagement dans les limites de l'aristotélisme d'une philosophie naturelle débordant l'aristotélisme[168]. Plus particulièrement, le traitement par Walter Burley, maître anglais ayant enseigné à Oxford et à Paris durant de début du XIVe siècle, du problème de la variation d'une qualité est presque paradigmatique de notre constat général sur la tradition de lecture critique des anciens ayant particulièrement fleurie durant la scolastique tardive. On observe en effet Burley prendre position sur la question des variations entre deux qualités contradictoires, par exemple la santé et la maladie ou le froid et le chaud, dans son *Tractatus Primus* où il défend une théorie des changements qualitatifs selon une succession de degrés particuliers et indivisibles entre les deux extrêmes d'une même espèce de qualité[169].

Par exemple, Burley propose de conceptualiser le changement qualitatif du chaud au froid grâce à un continuum entre les deux extrêmes de l'espèce qui se sépare en degrés indivisibles permettant de classer chaque instance individuelle de la forme ultime « chaleur »[170]. Loin de se situer dans les considérations et la problématique aristotélicienne, soit celle de la *Physique* et plus particulièrement du livre 7 concernant l'analyse du mouvement et de ses espèces, Burley prend l'analyse de la transsubstantiation du pain et

[168] Par exemple les diverses améliorations techniques apportées à la physique aristotélicienne qui restent pourtant dépendantes d'une analyse du mouvement comme processus n'ayant presque pas changé depuis Aristote. Cf. CLAVELIN, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée*, p. 123-124.
[169] SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators and the Mathematics of Motion, 1320-1350: Physics and Measurement by Latitudes*, p. 93.
[170] *ibid.*, p. 338.

du vin en la substance du Christ comme point de départ de son traitement des variations qualitatives. On comprend facilement que proposer une théorie péripatéticienne, relativement orthodoxe par rapport aux concepts utilisés, de la variation qualitative en prenant comme structure paradigmatique la transsubstantiation, littéralement une transformation formelle impliquant une modification complète et instantanée de la substance d'un être individuel, est à des kilomètres de l'esprit de la théorie aristotélicienne. De plus, ce traitement d'une problématique large sous l'égide d'un cas paradigmatique, très hétérogène aux contenus doctrinaux d'Aristote, transforme le but de la théorie et des concepts la structurant. Au lieu d'organiser principes et concepts en une théorie permettant d'expliquer un ensemble large de problèmes physiques, on tente plutôt d'agencer plusieurs concepts selon une théorie permettant premièrement d'expliquer l'eucharistie et secondairement d'être la plus cohérente face à l'ensemble des autres mouvements observables. Pour renforcer cette cohérence, Burley prendra massivement des appuis dans des domaines complètement externes à la théologie et à l'analyse du mouvement, principalement la médecine et l'optique.

De plus, l'utilisation de notions métaphysiques trouvant leurs sources dans la réflexion physique et mathématique, le concept de continuum ou bien les limites divisant le continuum et affectant l'identification d'une qualité à tel segment du continuum, vivifia une polémique axée sur la cohérence de ces concepts vis-à-vis de l'expérience sensorielle, débats évidemment vitaux à l'apparition du calcul infinitésimal et de la physique moderne. Nous soulignons que cette remarque de Sylla quant au *Tractatus Primus* de Burley pourrait être extrapolée à la quasi-totalité de la tradition oxfordienne du XIVe siècle et éclaire le phénomène de lecture critique des anciens dans la scolastique tardive :

> In the course of several interchanges between Burley and his primary opponent there is a net movement from a more empirical-natural approach to a more logical-mathematical approach. This movement is not one from actual observation or experiments to theories, but rather a movement from theories which attempt to describe what is observed or what is physically the case to theories which attempt to describe what is logically possible or mathematically consistent[171].

[171] *ibid.*, p. 91.

En somme, on constate que Burley ainsi que ses détracteurs faisaient de la philosophie à l'intérieur du prisme de la tradition médiévale telle que transmise et commentée et avaient un objectif primordial de cohérence entre les différentes théories et concepts qui devient concurrent à la finalité descriptive des théories. Il apparaît évident que ce besoin de cohérence logique dans la juxtaposition et la séparation des théories et autorités antiques ainsi que l'effervescence des recherches logiques durant la fin du Moyen Âge entraînèrent un changement dans la pratique philosophique, particulièrement celle en philosophie naturelle. On voit apparaître un souci d'interprétation de la nature selon un donné qui *doit* être traité par un ensemble de règles logiques et sémantiques, l'incohérence devenant un problème plus criant dans plusieurs contextes que l'inéquation entre les théories et le réel.

Nous observons ici un renversement monumental, puisque l'aspect critique et outrancièrement logique de la philosophie médiévale par rapport à son contenu, qui discrédita avec justesse la majorité de ses travaux scientifiques, mine le fondement même de la stagnation antique, soit le réalisme naïf et contemplatif par rapport à la vérité. Ce renversement est d'autant plus remarquable qu'il est concomitant à l'essor du technicien médiéval et prépare littéralement l'épistémologie occidentale à osciller entre le modèle de l'interprétation de la nature et celui de sa contemplation, condition nécessaire pour l'apparition des deux comportements de la méthode scientifique moderne, soit l'expérimentation et les modèles, qui selon nous sont des évolutions critiques de l'observation et des intelligibilités fonctionnelles[172]. Malgré son accentuation, nous croyons que cette opposition dans le rapport au monde physique comme source de connaissance est un fait de structure ne pouvant pas être dépassé et apportant une tension interne dans l'activité scientifique, comme le prouvent les divergences dans la scolastique tardive entre les nominalistes parisiens et les *Calculatores* quant à la viabilité en philosophie naturelle

[172] On peut rapprocher cette attitude d'une vision holiste de la méthode scientifique posant que sa véracité est obtenue simultanément par un traitement discriminatoire des observations selon les cas limites proposés par un modèle et par une généralisation des intelligibilités fonctionnelles en modèle grâce aux observations limites créées par l'expérience. Cette description du processus scientifique comme un dynamisme entre des modèles se généralisant et l'expérience qui balise ces généralisations est implicite dans notre traitement de la distinction entre la contemplation antique et l'expérimentation moderne. Cf. BARBEROUSSE, Anouk, KISTLER, Max, LUDWIG, Pascal, *La philosophie des sciences au XXe siècle*, p. 281-282.

de cet esprit interprétatif, à leurs époques l'utilisation de la logique des modernes, par rapport à la validité déjà établie de l'observation et de la causalité naturelle[173].

Au mieux les deux liens gnoséologiques doivent être balancés dans leurs forces et leurs faiblesses grâce à un long processus historique et à des circonstances contingentes aux milieux philosophiques et aux besoins des scientifiques. On illustrera notre vision grâce à une analogie de Poincaré qui compare la science physique :

> à une bibliothèque qui doit s'accroître sans cesse ; le bibliothécaire ne dispose pour ses achats que de crédits insuffisants ; il doit s'efforcer de ne pas les gaspiller. C'est la physique expérimentale qui est chargée des achats ; elle seule peut donc enrichir la bibliothèque. Quant à la physique mathématique, elle aura pour mission de dresser le catalogue. Si ce catalogue est bien fait, la bibliothèque n'en sera pas plus riche. Mais il pourra aider le lecteur à se servir de ces richesses. Et même en montrant au bibliothécaire les lacunes de ses collections, il lui permettra de faire de ses crédits un emploi judicieux ; ce qui est d'autant plus important que ces crédits sont tout à fait insuffisants[174].

Dans notre cas, celui de la science en devenir, on concédera qu'Aristote et l'Antiquité avaient fourni bien des livres et une méthode pour les distinguer entre eux, mais l'art subtil du catalogueur aura pris des siècles avant de fournir des collections remplissant les fonctions d'accessibilité et d'économie des moyens, c'est-à-dire des collections *pour* et *par* l'humain. On comprend aisément que, sans cet esprit de catalogueur, l'accumulation de connaissances se faisait d'une manière beaucoup trop disparate pour mettre en danger le catalogue aristotélicien. Heureusement la fin du Moyen Âge mettra en branle un renouveau épistémologique et logique qui entraîna l'apparition d'outils permettant de nouvelles interactions entre les différentes connaissances, ce qui était une condition de l'avènement des catalogues scientifiques et permit finalement de trouver les observations qui étaient vraiment déterminantes pour systématiser et rendre cohérentes nos collections. En somme, nous soulignons que malgré la nature foncièrement aristotélicienne de la pratique scientifique ayant restreint le développement d'une science descriptive et mathématique au Moyen Âge, le processus de transformation de l'empirisme contemplatif d'Aristote en l'empirisme moderne utilisant *activement* les mathématiques et la logique comme outil de

[173] DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, p. 448.
[174] POINCARÉ, Henri, *La science et l'hypothèse*, p. 160.

traitement et d'interprétation de la nature nous semble difficile à nier et trouve son fondement dans la scolastique et ses itérations tardives.

Chapitre 3 : Thomas Bradwardine et le *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*

3.0 La place du Traité dans l'historiographie des sciences : Bradwardine physicien ?

Suite à l'élaboration d'un contexte théorique permettant de comprendre la place que nous attribuons à la scolastique tardive dans le développement des intelligibilités fonctionnelles et de la mathématique expérimentale, il est primordial d'étudier un auteur qui correspond presque parfaitement avec ce cadre théorique. Bien qu'il existe assurément des dizaines d'auteurs médiévaux ne respectant pas du tout notre caractérisation de la scolastique tardive, qui nous l'avouons est excessivement axée sur les transformations affectant la méthodologie scientifique, il existe en contrepartie une école philosophique majeure, quoique relativement peu connue, qui correspond presque parfaitement avec notre trame narrative, celle des *Calculatores* d'Oxford. Par majeure nous entendons l'influence qu'elle aura durant la fin du Moyen Âge et l'époque moderne[175], par exemple les nombreuses références que fait Leibniz aux membres de cette école, autant que la portée scientifique et philosophique de leurs travaux, qui sont qualifiés parmi les quelques avancées théoriques en physique et en mathématique du Moyen Âge latin[176]. Devons-nous donc considérer Bradwardine et ses successeurs comme des protophysiciens, traçant les voies que suivront par après Galilée et Newton ? Le constat peut être tentant et est proposé par plusieurs auteurs ayant édité les écrits des Oxfordiens, par exemple Crosby qui, dans l'introduction à sa traduction du *Traité des rapports* de Bradwardine, souligne que :

> Bradwardine 's *De proportionibus* represents, at any rate, a significant advance in 2 very important aspects of the scientific enterprise: first, it moves forward with the task of developing mathematical formulae for the expression of physical laws whose entailed consequences do not contradict other generally accepted laws or observations - in other words the task of achieving self-consistency in physics through mathematics; second, through the introduction of mathematical analysis, it sets the stage for the quantitative measurement of physical processes and, hence, that typically modern

[175] ROMMEVAUX, Sabine, *Introduction*, dans BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, p. XII.
[176] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 73.

> physics which was to appear with Galileo's wedding of mathematics and experimental observation[177].

Pourtant, si l'on se remémore les constats de Koyré quant à l'hétérogénéité du langage scientifique et de l'objectif étiologique des modernes et des médiévistes, on en vient rapidement à la conclusion que même si rétrospectivement on constate que Bradwardine a fait des avancées considérables pour son époque dans l'introduction des mathématiques à ce que nous relions au domaine de la physique, jamais son intention ni son cadre théorique ne furent la physique au sens moderne du terme, soit utiliser des ensembles d'intelligibilités fonctionnelles décrivant et correspondant rigoureusement à des faits expérimentaux. De plus, presque personne ne lisait Bradwardine à son époque en considérant qu'utiliser les règles de cohérences internes de certaines théories comme des principes viables pouvant être extrapolés au monde naturel fut une voie valide vers une explication du monde. Nous avons certes souligné comment la lecture critique des anciens a fait apparaître au Moyen Âge la nécessité d'une cohérence transthéorique, mais ce rôle était accordé aux règles de logique ou de métaphysique bien plus qu'aux relations mathématiques. L'utilisation dans le cas de l'analyse du mouvement d'une règle mathématique en philosophie naturelle s'explique par la tradition du livre 7 de la *Physique*, et non pas par une volonté ou une découverte de Bradwardine et de ses successeurs.

Malgré son néoplatonisme latent, Bradwardine ne croit pas que les phénomènes sensibles du monde matériel soient régis par des lois mathématiques, il qualifie lui-même d'une manière très stricte la portée de sa loi des rapports, assurément un apex de la mathématisation du monde naturel au Moyen Âge, grâce à une relation d'attributs communs et possédant des quantités du même genre[178]. On pourrait croire qu'il a une vision de la connaissance similaire à celle de Nicomaque de Gérase grâce à certains segments que nous analyserons, mais en définitive Bradwardine utilise le schéma de la construction du savoir des néoplatoniciens, à partir de l'arithmétique jusqu'à la philosophie et la théologie[179], uniquement pour l'apprentissage humain. Il n'hypostasiera pas, en bon

---

[177]CROSBY, H. Lamar, *Thomas Bradwardine: His Tractatus de Proportionibus. Its Significance for the Development of Mathematical Physics*, p. 16.

[178] BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, trad. et intr. Par Sabine Rommevaux, p. 5.

[179] *Ibid*., p. 3.

aristotélicien, cette vision pédagogique de la construction du savoir humain en une structure métaphysique du monde, en plus que pour Bradwardine la causalité divine omniprésente rendrait hérétiques les niveaux médiateurs que représentent les entités mathématiques pour un Nicomaque[180]. Au mieux accepterait-il que Dieu ait créé et possède ces entités, mais jamais il ne croirait qu'elles possèdent un rôle causal ou structurel dans l'organisation du monde et dans l'accès à la vérité.

Rappelons-nous que le chef-d'œuvre de l'archevêque de Canterbury, *La cause de dieu contre les Pélagiens*, est littéralement une somme théologique *more geometrico* défendant l'omniscience absolue de Dieu et sa participation active et première, autant dans l'ordre que dans la puissance, à chaque événement de la création. Étant un lecteur assidu d'Augustin et de Boèce, Bradwardine prendra position autant dans la polémique de la grâce divine que dans celle de l'existence des futurs contingents, deux questions opposant les doctrines chrétiennes du libre arbitre et de l'omnipotence divine. Dans les deux cas, notre archevêque utilisera son ontologie, soit celle d'un créateur ayant l'être et ses propriétés d'une manière maximale[181], comme fondement pour affirmer l'omnipotence de Dieu au détriment d'un concept maximaliste du libre arbitre. Il utilise certes la méthode mathématique et la logique pour construire son exposition théologique, mais ce ne sont que des outils particulièrement efficaces entre ses mains qu'il met au service de la théologie, qui elle seule permet grâce aux dogmes de la foi catholique d'avoir accès aux voies d'action de Dieu et de sa création. Nous ne croyons pas qu'il serait exagéré d'affirmer que Bradwardine s'attendrait à trouver les principes métaphysiques régissant la création dans l'Ancien Testament plutôt que dans les mathématiques ou la logique, tous comme le laisse entendre son support des thèses du *Secret des secrets*, pseudépigraphe aristotélicien omniprésent au XIII^e et au XIV^e siècle, sur la révélation par Dieu de l'ensemble des sciences aux différents prophètes hébreux ainsi que leur dégradation subséquente[182]. Nous insistons sur ce point pour éloigner

---

[180] LEFF, Gordon, *Thomas Bradwardine's De Causa Dei*, p. 26.
[181] Le premier principe de l'ontologie bradwardienne « Deus est summe perfectus et bonus, in tantum quod nihil perfectius vel melius esse posset » est littéralement l'axiome de son livre et sera le fondement de tous ses raisonnements. Cf. KALUZA, Zénon, *Études doctrinales sur le XIVe siècle - Théologie, Logique et Philosophie*, p. 43.
[182] MOLLAND, George, *The Role of Aristotle in the Epistemological Schemata of Roger Bacon and Thomas Bradwardine*, p. 288.

définitivement de notre archevêque toutes projections modernistes que l'on pourrait facilement lui attribuer si l'on observe uniquement certains segments de son œuvre, car Bradwardine est définitivement un théologien catholique et un philosophe scolastique, avec toutes les bizarreries théoriques et les autorités douteuses typiques à son époque.

L'ontologie de Bradwardine est peut-être étrange si on la compare au reste du Moyen Âge, ce qui nous pousse à faire des projections comparatives avec l'ontologie des néoplatoniciens ou bien celle de Nicolas de Cues, Newton ou Leibniz pour lui donner du sens. N'en reste nous croyons pouvoir l'expliquer suffisamment par la tradition émanatiste de l'Angleterre débutant avec Robert Grosseteste et Roger Bacon sous l'influence des travaux optiques gréco-arabes ainsi que par la similarité entre la vision augustinienne de l'action divine et celle du modèle de causalité utilisé en optique, sommairement ce que nous avons décrit comme la tradition francisco-chartraine d'Angleterre. En somme, Bradwardine est un théologien chrétien iconoclaste et son ontologie ne laisse que très peu de place à une médiation des niveaux ontologiques, pourtant très présente au Moyen Âge à cause de la filiale aréopagite et avicennienne, qui pourrait nous convaincre qu'il voit les mathématiques comme une science architectonique ou qu'il donne un rang ontologique particulièrement important aux entités mathématiques. Comme nous l'avons souligné, Bradwardine ne laisse même pas le libre arbitre humain avoir une place déterminante dans l'enchaînement causal de la création, alors croire qu'il poserait des niveaux ontologiques médiateurs fondés pas même sur des anges, mais sur des entités mathématiques, relève d'une fiction anachronique qu'il faut éviter.

Bradwardine utilise des canons interprétatifs de la philosophie médiévale pour rendre compte de la cohérence d'une doctrine de la *Physique* d'Aristote quant au mouvement local et il est vrai que ses successeurs étendront l'analyse à d'autres types de changements. Pourtant l'ensemble de la réflexion prend cadre dans la théorie du mouvement et respecte strictement les caractéristiques métaphysiques définies par Aristote, par exemple que le mouvement est toujours directionnel et conditionné par deux sujets, ou bien par la disparation ou l'apparition d'un sujet à partir d'un non-sujet[183]. Ainsi Bradwardine

[183] ARISTOTE, *Physique*, 241a, p. 352.

analysera-t-il toujours la proportionnalité des rapports entre deux sujets qui fournissent les quantités mises en relation, jamais une relation en soi ne sera considérée, ce qui restreint la valeur de la mathématisation de cette relation à une technicité théorique plus qu'à l'invention d'une loi physique. Ce fossé théorique insurmontable entre la physique galiléenne et celle pratiquée dans le cadre de la philosophie naturelle du XIVe siècle rend trompeur le lien rétrospectif entre la physique et les thèses philosophiques de Bradwardine.

L'analyse du traité et des concepts utilisés par Bradwardine rendra ces considérations plus évidentes, pourtant il est nécessaire dès le début de prendre résolument le pari que l'auteur n'applique tout simplement pas les mathématiques à la physique, la philosophie naturelle médiévale n'est pas un domaine distinct de la métaphysique en plus d'être pratiquée la plupart du temps dans une intrication de règles logiques typiques, soit des disputes scolaires du Moyen Âge ou bien de la finalité pédagogique des traités. Nous proposerons donc d'analyser le *Traité des rapports* comme un exemple d'un philosophe appliquant une *méthode herméneutique* technique et mathématique à l'intérieur de la philosophie, ce qui sera supporté par d'autres écrits de Bradwardine.

Cette distinction nous permettra de mettre en valeur la particularité de Bradwardine quant à son néoplatonisme et à ses considérations, caractéristiques de la fin du Moyen Âge, sur l'utilisation de la mathématique dans l'ensemble du savoir. Crosby a tout à fait raison de voir une avancée importante dans l'utilisation que fait Bradwardine de la théorie des rapports et des proportions pour le problème du mouvement, il faut juste éviter de mettre la charrue avant le bœuf et accepter que la physique n'était pas une science à cette époque, ni un domaine de recherche défini malgré la tradition d'analyse et de spéculation rangée sous l'égide de la philosophie naturelle d'Aristote. Bien que la recherche des physiciens du Moyen Âge soit essentiellement anachronique à notre avis, la méthode des intelligibilités fonctionnelles se retrouve en germe à la fin du Moyen Âge et nous fournira un contexte permettant de comprendre le dépassement du savoir antique et l'intense cohabitation méthodologique entre la division des sciences aristotéliciennes et le syncrétisme néoplatonicien.

3.1 La finalité et l'univers conceptuel du *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*

Tentons maintenant de caractériser la finalité ainsi que l'univers conceptuel dans lesquels prend place le *Traité des rapports*, puisque nous écartons l'analyse de ce traité qui voudrait y voir une amorce de la science physique. Un premier point qui caractérisera ce traité est sa place dans l'œuvre générale de Thomas Bradwardine, puisqu'on peut le situer approximativement dans la période scolaire qui précède la phase plus théologique de son œuvre. Dans cet ensemble de traités ayant comme but de rendre accessibles des pans des connaissances scolaires en philosophie naturelle liés aux concepts et relations mathématiques, on peut ranger le *Traité sur le continu*, la *Géométrie spéculative*, l'*Arithmétique spéculative* et le *Traité des rapports*, puisque chacun de ces traités utilise des méthodes d'exposition typiques d'un écrit scolaire et est attribué avec certitude à Bradwardine[184]. Nous soulignons en particulier la méthode d'exposition mitoyenne entre un discours *more geometrico*, comme celui utilisé dans la *Géométrie spéculative*, et une exposition plus aristotélicienne, « selon la coutume d'Aristote »[185], employée dans le *Traité sur le continu* ainsi que dans le *Traité des rapports*, puisque cette méthode est la marque de commerce des traités scolaires de Bradwardine.

Nous faisons référence, en parlant *d'exposition aristotélicienne*, à une exposition respectant un plan dialectique simple, soit premièrement le positionnement de la problématique selon les concepts utilisés et la question de recherche, par exemple dans la *Physique* où Aristote commence son enquête sur l'infini en posant que la science naturelle doit prendre en compte la nature finie ou infinie des grandeurs, du temps et du mouvement, donc que celui qui étudie la nature devra savoir si l'infini existe ou non ainsi que sa nature si son existence est confirmée[186]. Au début du livre 1 de la *Physique*, Aristote utilise la même espèce d'amorce pour ensuite introduire le deuxième mécanisme argumentatif, soit l'énumération et la réfutation des thèses des autres philosophes, ce qui a bien sûr pour but de montrer l'incohérence de ses prédécesseurs et la viabilité de sa solution, qu'il présente durant un

[184] MOLLAND, George, *Introduction*, dans BRADWARDINE, Thomas, *Geometria speculativa*, p. 9.
[185] BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, trad. et intr. Sabine Rommevaux, p. 25.
[186] ARISTOTE, *Physique*, 202b30-203b15, p. 171.

troisième moment d'une exposition qui devait être classique dans les leçons ésotériques telles qu'elles avaient lieu au Lycée.

On observe cette mitoyenneté entre ces deux modes d'exposition dans le *Traité sur le continu* où Bradwardine utilise la méthode géométrique au début pour poser des définitions, des suppositions ainsi que des conclusions majoritairement mathématiques lui permettant, une fois arrivé à la 31e conclusion, d'exposer les différentes opinions sur le continu présentes chez ses contemporains et chez les anciens[187], les réfuter et affirmer la supériorité de l'interprétation aristotélicienne du continu, soit qu'il est composé de parties potentiellement divisibles à l'infini. Un plan d'exposition presque identique est présent dans le *Traité des rapports* où, durant le premier chapitre, Bradwardine construira un modèle de traitement mathématique axiomatisé des concepts de mise en rapport et de proportion entre différents types de rapport. Dans le chapitre 2, il exposera et réfutera les opinions de ses prédécesseurs concernant la relation de proportionnalité pouvant être établie grâce à la mise en rapport de deux vitesses entre elles ainsi que les conclusions sur la force du moteur et la résistance du mobile tirées de la proportionnalité précédemment établie et finalement exposera sa propre interprétation de la règle aristotélicienne durant les deux autres chapitres.

Il nous semble primordial d'accorder un intérêt à la méthode de composition des traités, puisque c'est la source d'information principale quant à la finalité des traités et de l'œuvre intellectuelle que Bradwardine y produit. Nous ne croyons pas faire erreur en voyant une dichotomie entre les motivations derrière les écrits de Bradwardine durant la période scolaire et celles derrière la période théologique, même si presque tous les enjeux peuvent s'inscrire dans un arrière-plan théologique, par exemple celui du continu qui est soulevé dans le problème du mouvement local d'êtres incorporels et sans partie, les anges, dans un continu parfois présenté avec des parties, divisible ou indivisible[188]. Un fait notable de ses écrits scolaires et de leur forme axiomatisée est pourtant qu'ils ne touchent pas directement des points de doctrines typiques de l'enseignement universitaire en mathématique, ils sont

[187] BRADWARDINE, Thomas, *Traité sur le continu*, trad. Sabine Rommevaux, Conclusion 31, dans *De la Théologie aux Mathématiques : L'infini au XIVe siècle*, p. 97.
[188]BIARD, Joël, *De la théologie aux mathématiques : L'infini au XIVe siècle*, p. 29.

souvent des compléments particulièrement techniques à certains segments de la réflexion aristotélicienne faisant intervenir des conceptions mathématiques comme les rapports ou bien des concepts métaphysiques pouvant tirer avantage d'un traitement mathématique, comme c'est le cas du continu et de son traitement selon les règles géométriques tirées d'Euclide. C'est l'idée que propose George Molland, spécialiste de l'œuvre scolaire de Bradwardine et de la science médiévale, lorsqu'il souligne à propos des traités de géométrie et d'arithmétique, que : « More plausibly it can be seen as an aid to lecturers on Aristotle for explicating his frequent mathematical allusions »[189].

En positionnant les traités de philosophie naturelle dans une perspective scolaire et dans un objectif d'explication et de systématisation des moyens mathématiques utilisés par les Grecs et les Arabes pour analyser ces problèmes, on peut comprendre pourquoi Bradwardine écrit ces courts traités. Bien qu'il soit souvent possible de les lier à un segment quelconque d'une polémique extraite des *Sentences* de Pierre Lombard, que ce soit sur le mouvement des anges ou sur les moteurs des astres, les courts traités de Bradwardine limitent leur portée polémique et restent strictement dans le domaine de la philosophie naturelle. Grâce à cette caractéristique, on peut plus aisément supposer que Bradwardine s'inscrit dans un mouvement universitaire européen, particulièrement vivant à Oxford, de perfectionnement des connaissances mathématiques apparues en Occident durant le XIIe et le XIIIe siècle et de leur possibilité herméneutique par rapport à la science gréco-arabe.

Cette interprétation du rôle de Bradwardine et de ses écrits à son époque semble de plus confirmée par la nature excessivement technique des travaux et des preuves utilisées, par exemple en comparant un commentaire plus conventionnel du livre 7 de la *Physique* comme celui de Thomas d'Aquin, on observe rapidement que Thomas ne sort pas d'un symbolisme alphabétique rudimentaire et ne considère pas les apories qu'Aristote soulève comme des problèmes graves à la cohérence mathématique générale de la théorie des rapports que le Philosophe explique. Elles sont plutôt interprétées comme des observations matérielles fournies par le Stagirite et permettant de mettre des balises interprétatives à la théorie exposée[190]. En somme, Thomas semble beaucoup plus près de l'esprit de la théorie

189 MOLLAND, George, *Introduction*, dans BRADWARDINE, Thomas, *Geometria speculativa*, p. 10.
190 D'AQUIN, Thomas, *La Physique d'Aristote et son commentaire*, livre 7, leçons 8 et 9, p. 751-768.

qu'Aristote expose, tandis que Bradwardine effectue une « surtechnicalisation » de cette section théorique d'Aristote pour qu'elle soit concordante avec son propre critère de cohérence logique et mathématique dépendant de l'apparat axiomatique qu'il a mis en place durant le chapitre 1 du traité, quitte à faire violence au texte et à la théorie du livre 7. Nous rejoignons sur ce point la remarque éclairante de Stillman Drake quant à la vision que Bradwardine entretenait de son interprétation d'Aristote lorsqu'il souligne :

> Bradwardine's conviction that he had not only solved the objections but had in fact recovered Aristotle's original meaning, is regarded as merely mistaken by most historians. Some express surprise that Bradwardine did not recognize, in the third of the four positions he opposed, the position of Aristotle himself. I do not think that Bradwardine's conviction is as unfounded as may appear. Aristotle's word *analogia* had a special meaning to Bradwardine; it referred specifically to geometric proportion, which was only one of the three kinds of proportion discussed in Bradwardine's *Treatise*. Bradwardine had found a rule that saved Aristotle, and he added at its end "and this means geometric proportionality"[191].

Suite à ces considérations, on peut se tracer une esquisse de ce qu'est le *Traité des rapports* dans l'univers conceptuel de Bradwardine, soit que ce traité représente un effort de sauvetage d'une théorie aristotélicienne qui était mise à mal dans son canon interprétatif par le raffinement des considérations mathématiques entourant un terme utilisé par Aristote et par Euclide, *analogia*. Ce terme était devenu hautement polysémique dès l'époque romaine comme l'atteste les dix types possibles de proportionnalités (*medietates*) que rapporte Boèce dans l'*Institution arithmétique*[192] et cette polysémie technique rend l'explication par Aristote de la mise en rapport entre deux rapidités par un respect d'une proportionnalité entre les rapports établis par la force de leur moteur et la résistance de leur mobile beaucoup trop vague pour le niveau technique des mathématiques exploitées par Bradwardine.

Il suffit de rappeler ici qu'Aristote était un contemporain d'Eudoxe l'Académicien, sûrement le responsable de plusieurs des théories les plus abyssales, autant par leur portée que par leur difficulté, des *Éléments* euclidiens, et qu'il était temporellement bien avant l'œuvre d'Euclide ou d'Archimède. Il est donc historiquement et doctrinalement plausible

[191] DRAKE, Stillman, *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*, Vol. 3, p. 111.
[192] BOÈCE, *Institution arithmétique*, livre 2, 41, p. 142.

qu'Aristote ne connaissait pas assez les rapports eudoxiens pour pouvoir proposer une théorie qui serait interprétable et cohérente avec les canons tirés de l'*Institution arithmétique* et des *Éléments* de Campanus, qui sont toutes deux des œuvres de 4e ou 5e génération interprétative, au *minimum*, de la théorie d'Eudoxe. De plus, plusieurs historiens des mathématiques grecques avancent l'hypothèse que la théorie eudoxienne aurait subi une évolution substantielle avant de parvenir dans la forme achevée que nous observons dans l'œuvre d'Euclide, ce qui renforce d'autant plus la possibilité d'une incohérence technique entre l'exposé d'Aristote et les théories des rapports utilisées par la suite dans l'Antiquité, sans même mentionner l'écart immense qui doit exister entre Aristote et le canon interprétatif médiéval[193]. Pourtant Bradwardine n'avait pas accès à un point de vue critique quant à ses sources et leur agencement, ce qui le fait avancer dans une certitude sans gêne quant à la véracité de l'interprétation qu'il présente de la théorie du mouvement d'Aristote. De plus, Bradwardine donne son aval à de bien étranges théories hermétistes[194] expliquant la distribution par Dieu des sciences aux prophètes et à certains païens, dont Aristote, ce qui rend évident pour Bradwardine qu'Aristote possède la seule réponse possible au problème d'évaluation de la rapidité, étant dépositaire du savoir révélé aux prophètes et dont la présence sur terre dépendait entièrement de l'activité de Dieu.

On comprend par ces diverses considérations que l'univers conceptuel derrière le *Traité des rapports* est celui de l'effervescence en Angleterre des travaux de mathématiques et de sciences gréco-arabes ainsi que leur exposition scolaire par un maître ayant une formation qualitativement supérieure à plusieurs de ses contemporains dans le domaine des mathématiques. Il semble en effet que l'enjeu du mouvement et de son analyse grâce à une théorie des rapports et de leur proportionnalité soit déjà un lieu commun en philosophie scolastique à la fin du XIIIe siècle suite aux indications d'Aristote et du traitement très détaillé dans les commentaires sur la *Physique* et sur le *Traité du ciel* par Averroès de la problématique. Par contre le traitement technique que fait Bradwardine de la proportionnalité entre deux rapports, qui sera suivi en partie par Oresme ainsi que par une vaste majorité des universitaires jusqu'à l'édition des *Éléments* d'Euclide traduits d'un texte

---

[193] DRAKE, Stillman, *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*, Vol. 3, p. 64.

[194] MOLLAND, George, *The Role of Aristotle in the Epistemological Schemata of Roger Bacon and Thomas Bradwardine*, p. 289.

grec et commenté de Nicolas Tartaglia en Italie durant la seconde moitié du XVI^e^ siècle, est indiscutablement une innovation du XIV^e^ siècle. Concluons donc cette mise en contexte du *Traité des rapports* en remarquant qu'il semble historiquement véridique d'interpréter Bradwardine et son œuvre dans l'optique de la tradition francisco-chartraine anglaise et des maîtres l'ayant précédée, ce qui nous permet de comprendre comment la méthode très mathématique de Bradwardine semble l'élément le plus discriminant de sa pensée, beaucoup plus que sa philosophie naturelle et les théories mathématiques qu'il y expose.

3.2 L'analyse générale de la règle de Bradwardine dans le *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*

Un point primordial doit être mentionné avant l'analyse des segments significatifs du texte, soit l'énorme controverse quant à l'interprétation de la fameuse règle de Bradwardine exposée dans le *Traité des rapports*. Dans la traduction française de Sabine Rommevaux, qui semble incontestablement être une traductrice d'œuvres médiévales très rigoureuse et informée, Bradwardine expose sa loi reliant la rapidité, la force du moteur et la résistance du mobile ainsi : « les rapports des puissances motrices aux puissances résistives et les rapidités dans les mouvements sont proportionnels dans le même ordre, et de même inversement. Et l'on doit comprendre ici qu'il s'agit d'une proportionnalité géométrique »[195]. On peut comparer ce segment avec la traduction, 50 années avant, de Crosby qui est nettement plus ambiguë quant aux termes et relations impliqués : « The proportion of the proportions of motive to resistive powers is equal to the proportion of their respective speeds of motion, and conversely. This is to be understood in the sense of geometric proportionality »[196].

L'interprétation de ce premier théorème du chapitre 3 doit être faite en amont, puisque la compréhension qu'en a Bradwardine conditionne autant son analyse des thèses antérieures du chapitre 2, sa propre analyse de la théorie d'Aristote ainsi que l'apparat axiomatique

[195] BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, trad. et intr. Sabine Rommevaux, p. 49.

[196] Le latin scolastique nous donne « *Proportiones potentiarum moventium ad potentias resistivas, et velocitates in motibus, eodem ordine proportionales existunt, et similiter econtrario. Et hoc de geometrica proportionalitate intelligas*. » Cf. CROSBY, H. Lamar, *Thomas Bradwardine: His Tractatus de Proportionibus, its Significance for the Development of Mathematical Physics*, p. 112-113.

développé dans le chapitre 1. Puisque nous n'allons pas faire un commentaire systématique du *Traité*, ce qui serait trop étendu et impliquerait des explications axiomatiques longues et sèches de contenu philosophique pertinent, il est essentiel de décomposer et d'expliquer les différentes parties de la loi de Bradwardine. Nous le ferons dans une optique interprétative similaire à celle exposée par Drake dans son article *Bradwardine's Function, Mediate Denomination and Multiple Continua*[197], puisque les arguments apportés par l'auteur contre l'interprétation traditionnelle utilisée par Crosby sont sans appel et que l'auteur va nettement plus loin dans son interprétation que Sabine Rommevaux. Nous utiliserons la traduction de Sabine Rommevaux, puisqu'elle pallie l'expression lapidaire du latin tout en conservant une rigueur conceptuelle qui est absente de la traduction de Crosby. D'une manière générale nous nous référerons à cette traduction, puisqu'à la fois Rommevaux[198] et Drake soulèvent de très importants problèmes de rigueurs conceptuelles et de projections rétrospectives dans la traduction de Crosby, bien qu'en dernier recours nous indiquerons le latin en bas de page si cela est nécessaire.

Nous utiliserons une notation symbolique, puisque certains concepts se synthétisent nettement mieux avec un certain symbolisme, tout en gardant en tête qu'à l'exception d'un symbolisme alphabétique rudimentaire, aucune des notations utilisées ici n'est dans le texte de Bradwardine. Le premier élément pour comprendre l'interprétation de la théorie du mouvement par Bradwardine est la théorie des rapports, qui s'établit selon la division des rapports entre les rapports rationnels et les rapports irrationnels, sommairement les rapports pouvant être nommés, littéralement *denomino*, par un nombre sont les rationnels, par exemple 2 est le rapport double, soit 2/1, et 3 est le rapport triple, soit 3/1. Les rapports irrationnels sont ceux ne pouvant pas être nommés par un nombre naturel ($\mathbb{N}$), mais pouvant être nommés par un rapport, par exemple le rapport entre l'aire d'un cercle et le carré de son rayon, soit A/r^2 qui est la dénomination du rapport irrationnel que l'on exprime par le transcendant moderne Pi (л). Bradwardine ne s'occupe que des rapports rationnels dans sa théorie, puisqu'ils sont les seuls permettant de comparer la puissance des différentes

197 DRAKE, Stillman, *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*, Vol. 3, p. 87-103.
198 ROMMEVAUX, Sabine, *Introduction*, dans BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, p. XV.

qualités du même genre, ce qui est l'objectif motivant l'appareil axiomatique introduit dans le chapitre 1 traitant des rapports[199].

Bradwardine élabore ensuite une pléthore de noms et de classifications permettant de dénommer des rapports de plusieurs sortes, mais la seule qui nous importe est la distinction entre les rapports d'égalités et d'inégalités ainsi que les sous-distinctions entre les rapports d'inégalités inférieures, ou plus petites, et supérieures, ou plus grandes. Symboliquement cette distinction se résume à poser un Θ et un ψ quelconque étant en rapport tel que Θ/ψ, si $\Theta=\psi$ c'est un rapport d'égalité, si $\Theta>\psi$ c'est un rapport de plus grande inégalité et si $\Theta<\psi$ c'est un rapport de plus petite inégalité. Seuls les rapports de plus grande inégalité concernent la théorie du mouvement, puisque selon Aristote un mouvement est causé uniquement si la force excède la résistance avec laquelle elle entre en rapport, soit $V=F/R$ tel que $F>R$, donc il est évident qu'un rapport entre une force moindre que la résistance ou bien une force égale à la résistance sont inutiles dans notre cas, bien que Bradwardine les décrit tous pour assurer la cohérence de son apparat axiomatique[200].

Le prochain pas est de comprendre ce qui est mis en rapport, soit les éléments de la théorie du mouvement d'Aristote avec les caractéristiques de la philosophie naturelle du XIVe siècle, c'est-à-dire l'analyse du mouvement selon ses causes et ses effets. Ils se résument premièrement à la rapidité, entendue comme effet qualitatif possédé par un sujet en changement, en mouvement, et pouvant subir des variations de degrés, autrement dit une grandeur intensive pouvant subir une *intensio* et une *remissio*[201]. On met les rapidités en rapport entre elles, c'est-à-dire que l'on compare le rapport d'une rapidité à une autre rapidité pour obtenir une dénomination, par exemple la dénomination 2, soit 2/1, serait une rapidité deux fois plus grande qu'une autre rapidité, évaluée grossièrement, c'est-à-dire sans unité de mesure pertinente, selon la distance parcourue en un temps donné. La puissance active du moteur et la puissance résistive du mobile sont les deux autres éléments de la théorie, entendus comme ensemble de causes formelles générant la puissance devenant

[199] BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, trad. et intr. Sabine Rommevaux, p. 6.
[200] *Ibid.*, p. XXVIII.
[201] CLAVELIN, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée*, p. 78.

l'acte du changement ainsi que la puissance résistant à la mise en acte du changement. On établit un rapport entre elles de la même manière qu'entre deux vitesses, par exemple qu'un dénommé 2 est un rapport où la force motrice est 2 fois la résistance du mobile, et que si dans ce cas précis la résistance double, alors le rapport se dénomme 1 et n'implique pas de mouvement puisqu'il est un rapport d'égalité.

Un cas simple pour comprendre un peu mieux la dynamique d'Aristote, c'est-à-dire l'interaction entre les deux puissances, peut s'imaginer en comparant la chute d'un ballon, possédant un élément terreux minimal grâce à son enveloppe, empli d'éléments aériens dans l'air et dans l'eau. Le ballon d'air chutera avec une rapidité déterminée par la puissance de la lourdeur des éléments terreux dans le ballon ainsi que par la légèreté des éléments aériens du ballon, l'ensemble de ces qualités de poids étant déterminé relativement au milieu dans lequel se trouve le ballon et selon le milieu naturel vers lequel tend la puissance la plus grande dans le ballon. Si les éléments terreux qui composent le ballon ont une qualité de lourdeur plus grande que la qualité de légèreté des éléments aériens, alors le ballon chutera dans l'air vers le sol. Or dans l'eau, où la légèreté des éléments aériens est nettement plus grande, puisqu'ils tendent vers leur lieu naturel, soit l'atmosphère, tandis que l'élément terreux possède moins la qualité de lourdeur relativement au milieu qui est de l'eau, donc un élément moins lourd que la terre, mais plus lourd que l'air, on constate que le ballon monte. L'explication de ce phénomène prend en compte trois facteurs, soit le *lieu* du phénomène, permettant d'établir la valeur « absolue », selon la distance avec le centre du monde, c'est-à-dire le milieu de la sphère terreuse composant le centre de la terre, des légèretés et des lourdeurs de chaque élément du sujet subissant le phénomène. On coupe ensuite le sujet du phénomène en deux, évidemment parce que deux choses contraires ne peuvent pas être la même chose, soit le *mobile*, qui est composé des puissances s'opposant au phénomène, et le *moteur*, qui est composé des puissances causant le phénomène. Il y a différents types de phénomènes dans la théorie du changement d'Aristote, et chacun obéit à un cadre d'analyse qui lui est propre, nous resterons donc avec le cadre du mouvement naturel et du mouvement violent synthétisé par notre exemple et les développements subséquents.

Par contre pour Bradwardine, et pour n'importe qui le suivant dans son utilisation rigoureuse de la théorie médiévale des rapports dans un cadre aristotélicien, il n'est pas question d'établir une proportionnalité entre une rapidité et le rapport entre la puissance active du moteur et la puissance résistive du mobile, comme le fait explicitement Aristote et comme le fait la troisième opinion erronée du chapitre 2 du *Traité des rapports*. Il considère qu'il faut mettre en rapport des rapidités pour obtenir une proportionnalité, dernier élément nécessaire à la compréhension de la théorie du mouvement de Bradwardine, et que cette proportionnalité est équivalente, du même ordre, avec la proportionnalité obtenue en mettant en rapport les rapports des puissances résistives et actives de chacune des rapidités. En somme, il faut analyser les rapports des effets du mouvement, c'est-à-dire la rapidité, et les mettre dans une relation de proportionnalité avec les rapports des causes du mouvement, ce qui est le propre de l'analyse médiévale du *quoad effectus* et du *quoad causas* pour la théorie du mouvement.

Rapidement, Bradwardine expose trois types de proportionnalité parmi les dix existant dans l'*Institution arithmétique* de Boèce[202], soit la proportionnalité arithmétique, par exemple les rapports 5 pour 4 et 3 pour 2 qui possèdent des restes dénommés par 1, la géométrique, par exemple les rapports 6 pour 2 et 3 pour 1 qui sont dénommés par 3, et l'harmonique, par exemple les rapports 6 pour 4 et 4 pour 3 qui rendent compte de l'égalité entre 6 pour 3 et (6 - 4) pour (4 - 3), soit (6 / 3) = (2 / 1) = ((6 - 4) / (4 - 3))[203]. Les proportionnalités arithmétiques et géométriques sont ensuite divisées en *continues* et en *discontinues* selon qu'elles possèdent un élément commun aux rapports proportionnels adjacents, par exemple la proportionnalité arithmétique de 8 pour 6, 6 pour 4 et 4 pour 2 ainsi que la proportionnalité géométrique entre 16 pour 8, 8 pour 4 et 4 pour 2 sont des proportionnalités continues. Bradwardine ne prend en considération que la proportionnalité géométrique dans son analyse, puisque la proportionnalité harmonique ne prend en charge

[202] BOÈCE, *Institution Arithmétique*, II, 43-47, p. 144-158.

[203] Pour un A, B, C, D et E où A>B, B>C, C>D et E>0, A/B et C/D sont proportionnels *arithmétiquement* si A-B=E et C-D=E ; A/B et C/D sont proportionnels *géométriquement* si A/B=E et C/D=E ; A/B et B/C sont proportionnels *harmoniquement* si A/C=(A-B/B-C). Cf. BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, trad. et intr. Sabine Rommevaux, p. 10-12 et Boèce, *Institution Arithmétique*, p. XXXIV-XXXV.

que trois éléments et que la proportionnalité arithmétique ne prend en charge qu'un nombre très restreint de proportionnalités continues[204].

Grâce à ces éléments, on peut résumer de la manière la plus *minimale et légitime* possible la théorie exposée par Bradwardine au début du chapitre 3, puisque l'extrapolation d'un théorème ou d'une définition au-delà de la portée qu'il avait pour un maître scolastique du début du XIV^e^ siècle est le danger principal et la source de toutes les controverses concernant cette règle. Peut-être limitons-nous trop la portée et les implications de la règle de Bradwardine en appliquant autant de précautions à la portée de l'appareil axiomatique et de la théorie de Bradwardine, mais nous croyons que c'est un mal nécessaire si l'on considère le fossé théorique entre nos considérations implicites et les considérations implicites de Bradwardine.

Un exemple de ce problème, justifiant notre précaution presque abusive, est la formule présentée par Crosby[205] et suivie par A.L. Maier, E. Sylla[206] et M. Clavelin[207] ainsi que par presque l'ensemble des commentateurs du XX^e^ siècle, où l'auteur donne la fonction de Bradwardine en utilisant, bien qu'il souligne la nature anachronique de la notation, le concept de logarithme dans une relation d'équivalence sous la forme V= LOGn (F/R). Crosby justifie cette utilisation du logarithme dans la mise en relation de la vitesse par rapport à la force et à la résistance grâce à l'utilisation par Bradwardine de l'idée d'une vitesse deux fois plus lente qu'une autre. Crosby conclut du terme deux fois plus lent, puisque dans le contexte d'une proportionnalité géométrique Bradwardine signifie qu'un rapport deux fois plus grand est un rapport que l'on met au carré[208], qu'une vitesse deux

---

[204] La proportionnalité arithmétique continue est définie avec la suite arithmétique générant ses éléments (0+n, (0+n)+n, ((0+n)+n)+n, ..., 0+pn), ce qui restreint évidemment les éléments pouvant être mis en rapport aux multiples du premier élément (Up) de la suite (Up = Uo + Pn pour P=1 et Uo=0).

[205] CROSBY, H. Lamar, *Thomas Bradwardine: His Tractatus de Proportionibus, its Significance for the Development of Mathematical Physics*, p. 38.

[206] SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators and the Mathematics of Motion, 1320-1350: Physics and Measurement by Latitudes,* p. 314.

[207] CLAVELIN, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée*, p. 473.

[208] Nous comprenons depuis le XVIII^e^ siècle l'opération de doubler un ratio comme A/B *2 = 2A/B, ou 2/4 * 2 = 4/4, mais, pour Bradwardine, doubler le rapport veut dire multiplier le rapport par lui-même, c'est-à-dire le mettre au carré. Si l'on double A/B en suivant Bradwardine, on obtient A/B * A/B = AA/BB, ou 2/4 * 2/4 = 4/16, ce qui implique qu'une vitesse deux fois plus lente revient à l'opération de racine carrée, c'est-à-dire qu'une vitesse deux fois plus lente est une vitesse que l'on rapporte à sa demie, soit que A = B*B où

fois plus lente est la racine carrée d'une vitesse initiale. Bien que cette utilisation restreinte strictement à une racine carrée appliquée à la suite géométrique de raison 2 (la suite fournissant les puissances de 2) puisse être défendue[209], poser sur cette base la relation logarithmique[210], qui s'applique à des nombres fractionnaires et irrationnels dans notre compréhension moderne de l'arithmétique, comme impliquée par la théorie de Bradwardine est beaucoup trop aventureux et trompe tous les lecteurs modernes lisant Crosby et ne menant pas une enquête pour comprendre le fossé entre les propositions implicites pour Bradwardine, qui sont partiellement connues et loin d'être comprises d'une manière univoque parmi les spécialistes, et celles implicites pour un lecteur moderne.

Suite à cette mise en garde justifiant la position minimaliste que nous prenons, nous proposerons, en suivant Stillman Drake dans ses éléments les moins polémiques[211], d'analyser la règle de Bradwardine comme une règle de classification des rapports de plus grandes inégalités selon leur présence dans une suite géométrique (An : A0*R^n) possédant comme premier terme, comme raison ou comme puissance de la raison le rapport devant être classé. Par exemple, le rapport d'une vitesse plus grande d'une fois et sa moitié qu'une autre, c'est-à-dire le rapport sesquialtère de Bradwardine où V1/V2 où V1 = 3 et V2 = 2, se classe, grâce à la règle de Bradwardine, dans la suite géométrique de raison 3/2, c'est-à-dire An : 1*(3/2)^n = { 3/2, 9/4, 27/8, ..., A0*(V1/V2)^n }. À partir de cette classification, on pouvait ensuite conclure que les rapports de plus grande inégalité entre la force d'un moteur et la résistance d'un mobile reliés à chaque vitesse étaient proportionnels selon la suite géométrique à la base de la classification et les différentes suites géométriques continues découlant des éléments de la suite géométrique de base[212], par exemple pour

A est la vitesse initiale et B est la vitesse deux fois plus lente. Cf. ROMMENVAUX, Sabine, *Introduction*, dans BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, p. XX.

[209] Stillman Drake dit qu'il est possible, sous une montagne de réserves, de poser cette implication à partir du texte de Bradwardine Cf. DRAKE, Stillman, *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*, Vol. 3, p. 90.

[210] ROMMENVAUX, Sabine, *Introduction*, dans BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, p. XV.

[211] DRAKE, Stillman, *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*, Vol. 3, p. 93-95.

[212] Chaque ratio A/B forme un *genre* de proportionnalité pouvant classifier chaque rapport selon la suite géométrique A0*(A/B)^n ainsi que selon les *sous-genres* des suites géométriques continues pouvant être générées à partir des éléments de la suite A0* (A/B)^n, par exemple l'élément (A/B)^2=AA/BB qui appartient au genre de proportionnalité (A/B)^n, entraîne comme sous-genre la suite géométrique continue 1/T = T/AA = AA/BB= BB/Y ...

notre cas V1 et V2, on poserait la force du mobile causant le mouvement V1 comme égal à 6 et l'on déduirait arithmétiquement que F1 = 6, R1 = 4, donc F2 = 3, R2 = 2 et leur rapport serait de (6/4)*(3/2) = 18/8 = 9/4. Bradwardine pouvait, grâce à cette règle de classement, organiser l'ensemble des rapports de vitesses et leurs multiples selon des classes strictement définies à partir des rapports de plus grandes inégalités pouvant être faits avec les nombres naturels.

Il est évident que ce système de classification formelle peut nous sembler artificiel et bien moins intéressant historiquement et conceptuellement qu'une règle, presque une fonction dans le sens moderne, à la Crosby nous fournissant une relation mathématique claire entre la vitesse, la force et la résistance. N'en reste la projection d'une théorie autant anachronique qu'une loi dynamique sur un auteur scolastique du XIV^{e} siècle est exactement la source de l'erreur de Crosby et de plusieurs autres dans leur manière de comprendre la contribution et la place historique de Bradwardine dans l'histoire des sciences. Bradwardine ne fournit tout simplement pas une loi physique et mathématique dans son œuvre, bien qu'une analyse proprement philosophique de ses théories et de ses sources ainsi que son importance historiographique puissent aisément le laisser croire. Ce n'est qu'avec un travail en aval, un épineux parcours à travers l'histoire des mathématiques, des courants philosophiques et des aléas philologiques, qu'une représentation *un peu plus* véridique du passé et de son importance peut être obtenue.

De notre côté, nous croyons que, à défaut de faire apparaître une lumineuse prémisse aux lois de la dynamique du XVII^{e} siècle, la règle de Bradwardine et le système de classification en découlant sont l'exemple type d'un système formel exceptionnellement cohérent et permettant d'établir des propriétés pour des phénomènes physiques presque impossibles à quantifier durant le Moyen Âge, tout ça uniquement avec des concepts philosophiques verbalement numérisés et un appareil axiomatique robuste fondé sur des segments du legs gréco-arabe magistralement utilisé. N'est-il pas incroyable de trouver chez Bradwardine un système nous permettant de simplement dire que la vitesse d'un bateau est de 6 nœuds et que celle d'un autre bateau est le double pour que ce *profond docteur* classifie et décrive systématiquement les liens pouvant être faits entre la force des rameurs de chacun des bateaux et les résistances aux mouvements des bateaux, tout cela à partir d'une simple observation quantitative minimale ? Bien qu'il ne soit pas notre proto-Galilée et qu'il ne nous propose pas des lois, que les 300 ans de travaux scientifiques le suivant arrivèrent à peine à bien formuler, Bradwardine est un représentant d'une tendance historique claire d'*interprétation* de la nature à partir d'un outil logico-mathématique se raffinant de siècle en siècle en Occident.

3.3 Le mutualisme des deux thèses organisatrices dans le *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*

Maintenant que nous possédons une interprétation cohérente de l'écrit de Bradwardine, il est beaucoup plus aisé de montrer comment certains segments du texte fournissent des preuves tangibles de la cohabitation des thèses aristotéliciennes et néoplatoniciennes ainsi que leur influence sur l'auteur. Nous avons souligné plus haut comment l'aspect le plus important à notre avis du *Traité des rapports* est sa méthode herméneutique, c'est-à-dire son utilisation d'un apparat axiomatique et mathématique pour interpréter une théorie antique et trancher selon sa cohérence propre la lecture véridique de cette théorie. Il reste maintenant à exposer des preuves textuelles de l'influence autant de la thèse instrumentaliste des mathématiques, que nous attribuons à Aristote, que de la thèse architectonique, que nous avons liée aux néoplatoniciens, sur la méthode herméneutique que nous présente Bradwardine.

Le premier élément devant être mis en lumière est l'ensemble des justifications par Bradwardine de son appareil axiomatique durant son prologue et son premier chapitre. On retrouve dès le prologue[213] la remarque, inspirée de l'*Institution* boécienne, concernant la primauté de l'arithmétique dans la construction du savoir philosophique, puisque sa négligence entraîne la ruine (*perdidisse*), le gaspillage, des ressources du savoir philosophique. Pourtant ce savoir élémentaire est exposé pour rendre la théorie philosophique plus facile à comprendre (*inquirenti*), à enquêter, pour les étudiants, ce qui nous rappelle que la tâche philosophique ici est de comprendre une théorie scolaire, et non

[213] CROSBY, H. Lamar, *Thomas Bradwardine: His Tractatus De proportionibus, its Significance for the Development of Mathematical Physics*, p. 64.

pas de trouver une voie d'accès transcendante à l'idéalité du phénomène du mouvement grâce à l'arithmétique.

Quelques pages plus loin, Bradwardine pose comme un axiome la vision néoplatonicienne des quantités irrationnelles en disant qu'elles se retrouvent, grâce à la mise en rapport, dans toutes les quantités sauf dans celles traitées par l'arithmétique, c'est-à-dire les nombres[214]. Bien loin de souscrire à la tendance aristotélicienne qui accepte la contamination de l'irrationalité en arithmétique grâce à la théorie des rapports eudoxiens ou à travers les relations entre les axiomes de la géométrie et ceux de l'arithmétique[215], Bradwardine nous déclame exactement la position ontologique de Nicomaque de Gérase en isolant les nombres et l'arithmétique des niveaux quantitatifs inférieurs qui eux subissent l'irrationalité[216]. Pourtant il ne suit pas toujours Boèce dans ses positions de fond, puisqu'on observe un glissement terminologique systématique et, nous croyons, volontaire chez Bradwardine, lorsqu'il expose les types de rapport dans sa qualification du processus de génération des différents rapports[217]. Boèce déclare sans soucis particuliers ce processus comme infini à plusieurs reprises[218], tandis que Bradwardine prend bien soin d'utiliser des termes comme interminable (*interminabilis est processus*), divisible infiniment (*Et haec ulterius in species infinitas partitur*) ou apparaissant par un processus infini (*infinitum proceditur*), c'est-à-dire qu'il se positionne, même dans son calque de l'exposition boécienne sur les types de rapports, dans une perspective médiévale où le concept d'infini est défini par une relation avec des processus plutôt que comme une entité en soi[219].

---

[214] BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, trad. et intr. Sabine Rommevaux, p. 6.

[215] ARISTOTE, *Premiers Analytiques*, 41a22-34, p. 117.

[216] On voit aussi cette position ontologique dans un autre traité de Bradwardine où il pose que :« An irrational ratio belongs to incommensurable quantities, but in no way to numbers, wherefore it is manifest that this whole consideration of ratio belongs to geometry. » Cf. BRADWARDINE, Thomas, *Geometria speculativa*, trad. George Molland, p. 89.

[217] CROSBY, H. Lamar, *Thomas Bradwardine: His Tractatus De proportionibus, its Significance for the Development of Mathematical Physics*, p. 68-71.

[218] Par exemple lorsqu'il définit les rapports multiples et sous-multiples comme infinis par nature (*Cum autem naturaliter multiplicitas et submultiplicitas infinita sit*), puisqu'ils permettent d'expliquer la génération des nombres à partir du Même et de l'Autre grâce aux suites et aux séries. Cf. BOÈCE, *Institution Arithmétique*, I, 23, p. 48.

[219] Bradwardine expose clairement son opinion personnelle dans le *Causa Dei* lorsqu'il dit que : « Tout nombre parfait, sphérique, circulaire, cubique, carré, pairement ou impairement pair ou impair, digital, articulé, composé ou de quelque autre disposition, est fini, comme le montre clairement l'Arithmétique. »

Plusieurs autres soubassements historiques et métaphysiques jalonnent l'apparat axiomatique que nous propose Bradwardine et cela nous permet de croire que l'utilisation enthousiaste qu'il fait des mathématiques est essentiellement syncrétique et sans principes méthodologiques définitivement néoplatonicien ou aristotélicien.

Un autre segment qui est déterminant dans notre analyse du syncrétisme dans le *Traité des rapports* est celui où Bradwardine expose et rejette la théorie, que l'on peut considérer comme orthodoxe, d'Aristote quant à l'analyse des causes du mouvement et à leur quantification exhaustive[220]. On trouve en effet dans le chapitre 2 une exposition des sources justifiant une opinion très répandue à l'époque de Bradwardine, soit que la rapidité, ou qualité du mouvement, peut être évaluée grâce au rapport entre la force du moteur et la résistance du mobile (V = F/R). On reconnaît ici l'interprétation classique d'un principe fondamental de la physique d'Aristote[221] qui malheureusement entre en opposition avec la théorie de Bradwardine sur le mouvement, puisqu'elle est complètement insuffisante pour gérer les huit variables, quatre rapports et la proportionnalité pouvant être utilisés par la théorie des rapports et de la proportionnalité géométrique qui nous a été présentée au chapitre 1, ne prenant en compte que deux membres de la relation comme des variables et supposant l'autre comme constante[222]. En plus, elle entraîne des contradictions avec d'autres axiomes aristotéliciens, principalement qu'en divisant la rapidité par deux une infinité de fois, on peut conclure qu'une force constante peut déplacer vraiment lentement un objet infiniment plus lourd que l'objet initial, ce qui contredit le fait qu'une force doit excéder une résistance pour entraîner un mouvement[223]. Dans les deux cas, les objections

---

Cf. BRADWARDINE, Thomas, *De la cause de Dieu contre les Pélagiens*, dans *De la théologie aux mathématiques : L'infini au XIVe siècle*, p. 184.

[220] CROSBY, H. Lamar, *Thomas Bradwardine: His Tractatus De proportionibus, its Significance for the Development of Mathematical Physics*, p. 94-109.

[221] CLAVELIN, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée*, p. 72.

[222] Par exemple pour deux bateaux, il faut soit le même nombre de rameurs, soit la même résistance causée par leur poids ou bien qu'ils aient la même vitesse, sinon il devient impossible de les mettre en rapport entre eux. On aurait en effet trois rapports à mettre en relation, soit le rapport entre les vitesses (V1/V2) et les deux rapports entre les forces et les résistances de chaque bateau, ce qui est évidemment problématique sans une théorie aboutie des rapports et de la proportionnalité. On comprend ainsi pourquoi il est plus simple de poser deux constantes pour ensuite uniquement avoir à gérer deux rapports incluant quatre variables.

[223] CROSBY, H. Lamar, *Thomas Bradwardine: His Tractatus De proportionibus, its Significance for the Development of Mathematical Physics*, p. 36.

se résument à souligner l'incohérence entre les outils mathématiques que l'auteur suppose à Aristote et leur utilisation dans la théorie 3, ce qui pousse notre auteur à rejeter l'interprétation la plus véridique de la théorie qu'il tente d'enseigner avec son traité.

L'autre segment démontrant l'optique syncrétique qu'apporte l'utilisation par Bradwardine de l'apparat axiomatique dans son processus d'interprétation est sa réponse à la quatrième théorie qu'il expose, soit qu'il est impossible de décrire le mouvement d'une manière précise avec la théorie des rapports, qui ne s'applique qu'à des quantités, puisque les forces motrices et résistives ne sont pas des corps sujets à la quantité, mais bien des formes[224]. C'est une objection centrale au questionnement médiéval sur l'analyse des phénomènes physiques grâce au formalisme aristotélicien, mais à l'époque de Bradwardine on peut affirmer que cette incohérence théorique a été passablement surmontée grâce aux réflexions sur l'intensité des qualités et la magnitude des intensités selon leur intensification et leur amoindrissement[225]. Pourtant Bradwardine ne fait même pas mention de ce courant et oppose à la quatrième théorie son implication sur la science de l'harmonique, qui s'effondrerait entièrement si la correspondance numérique entre les différents mouvements causant les sons n'était pas maintenue. Dans la même optique, Bradwardine souligne comment Averroès utilise la théorie des rapports des *Éléments* pour analyser la vitesse relative des déplacements entre les moteurs des sphères, ce qui encore une fois vient fonder la justification de l'utilisation des quantités en philosophie naturelle sur les réalisations des sciences médianes grâce aux théories mathématiques. Plusieurs autres ressorts argumentatifs de ce type pourraient être mis en lumière dans l'œuvre de Bradwardine, par exemple dans son traité de géométrie où il propose même de comparer grâce aux rapports des goûts, des humeurs et des températures[226], et confirmeraient notre observation, soit que Bradwardine, contraint par son apparat axiomatique et ses justifications intrinsèques, interprète d'une manière syncrétique les théories du péripatétisme gréco-arabe et les sciences médianes utilisant un apparat semblable.

[224] *Ibid*., p. 105-107.
[225] SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators and the Mathematics of Motion, 1320-1350: Physics and Measurement by Latitudes*, p. 335.
[226] BRADWARDINE, Thomas, *Geometria speculativa*, p. 87.

Le dernier segment que nous désirons mettre en lumière se trouve au chapitre 4 du *Traité* et démontre par l'exemple comment la méthode de Bradwardine peut entraîner l'apparition de théories interprétatives se fondant sur un outil mathématique pour combiner les différents savoirs de son époque. L'auteur nous dit que cette digression, qui concerne les rapports de dimension entre les éléments et leur sphère[227], malgré qu'elle soit très peu pertinente quant au sujet du livre, est un secret qui n'a jamais été exposé concernant la philosophie naturelle et qu'il peut le résoudre en posant un nombre très restreint de nouvelles vérités. Il avait posé quelques nouveaux axiomes et définitions au début du chapitre 4 pour analyser les proportionnalités entre des mouvements courbes ainsi qu'entre des objets courbes, ce qui lui permet de sortir complètement des considérations sur les mouvements et les forces pour s'intéresser à la cosmologie, plus précisément à la dimension de chacune des quatre sphères élémentaires. Cette digression est incroyablement pertinente pour notre analyse, puisque nous voyons Bradwardine utiliser son apparat mathématique, lui intégrer des valeurs de distances tirées des observations et théories astronomiques d'al-Farghani et de Thabit ibn Quarra et ensuite créer une théorie de la proportionnalité géométrique entre les sphères corruptibles et leur distance relative.

Encore plus convenant est le fait que cette théorie, qui évolue dans la cosmologie aristotélicienne des sphères corruptibles, prend comme supposition de base la proportionnalité géométrique et continue entre les éléments ainsi que l'organisation des sphères selon ces liens. Nous proposons, puisque aucun commentateur ou traducteur ne semble s'être intéressé à ce segment, que cette théorie est fortement inspirée des remarques que fait de nombreuses fois Boèce sur le mystère que révèle l'arithmétique[228] sur l'organisation du monde selon la cosmogonie du *Timée* de Platon et la correspondance entre les solides géométriques et les quatre éléments. Bien que Bradwardine ne mentionne pas qu'il ait accès à un *Timée*, les sources qu'il nous mentionne, Averroès pour la théorie des solides et Boèce pour la trame liant les solides primaires à la cosmologie du *Timée*, lui fournissent les éléments pour reconstituer grossièrement l'intuition cosmologique du *Timée* et y intégrer les estimations des astronomes arabes. Ce segment, qui peut sembler étrange

[227] BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, trad. et intr. Sabine Rommevaux, p. 69.
[228] BOÈCE, *Institution Arithmétique*, II, 32, p. 127-129 et II, 45, p. 153-155.

au premier abord, est presque littéralement un exemple de notre présentation de la méthode de Bradwardine dans le texte même de l'auteur, puisqu'il réunit à la fois l'apparat mathématique, les cadres théoriques et méthodologiques aristotéliciens ainsi que plusieurs intuitions et positions néoplatoniciennes lui étant parvenues à travers l'héritage boécien et le péripatétisme gréco-arabe.

On peut conclure à partir de l'ensemble de notre réflexion sur le *Traité des rapports* qu'il n'est pas excessif de poser cette œuvre comme utilisant d'une manière syncrétique et simultanée les thèses instrumentale et architectonique concernant l'utilisation des mathématiques. On a souligné à de nombreuses reprises comment le traité, autant par sa cohérence que dans son herméneutique « surtechnicalisatrice », prend les mathématiques comme une *arkhè*, un principe, organisant l'ensemble de la réflexion de Bradwardine sur le problème de la rapidité en philosophie naturelle. Simultanément, nous avons observé Bradwardine abriter son œuvre sous l'autorité symbolique d'Aristote, utiliser massivement des exemples tirés des sciences médianes et des faits observables en philosophie naturelle et finalement justifier des théorèmes mathématiques grâce à des contradictions qu'ils entraîneraient dans le monde physique. En prenant en compte aussi notre analyse du traité de Bradwardine en général et de sa place dans son œuvre, il sera sûrement plus véridique de poser que Bradwardine instrumentalise les mathématiques dans ses œuvres bien qu'elles en soient le principe organisateur et qu'elles contredisent souvent l'autorité d'Aristote et des Arabes. Nous proposons donc que c'est dans un syncrétisme accompli que l'auteur utilise les mathématiques comme outil herméneutique et qu'il se trouve à bien des égards dans une situation théorique similaire aux néoplatoniciens tardifs avec une inflexion plus marquée vers le péripatétisme causé par la filière arabe.

Chapitre 4 : La tradition oxonienne et l'épistémologie historique : vers une histoire des sciences pluridisciplinaires

4.0 L'approche multidisciplinaire en épistémologie historique : synthèse du problème et des concepts utilisés

Suite à ce long parcours tentant d'éclaircir la question du rôle de la scolastique et de la fin du Moyen Âge en général sur la révolution scientifique du XVII^e siècle, nous avons fourni un squelette conceptuel qui, bien que insuffisant et très peu supporté empiriquement, semble correspondre à l'intuition qui se dégage de beaucoup d'auteurs mentionnés durant cette recherche[229], soit que c'est par une évolution herméneutique que l'on peut le mieux comprendre la contribution de la fin du Moyen Âge à la révolution scientifique du XVII^e siècle. Nous avons particularisé cette évolution herméneutique au Moyen Âge grâce à un cas très précis qui a fortement déterminé notre narration et les concepts utilisés, il sera donc nécessaire de synthétiser notre *histoire du problème* pour ensuite mettre en avant nos considérations étendues sur l'enjeu du lien entre la scolastique et la révolution scientifique.

Le point de départ de cette histoire, soit celle de la méthode bradwardienne et des intelligibilités fonctionnelles, était les *deux apories mathématico-ontologiques*, soit l'existence des nombres irrationnels et l'opposition entre le continu et l'infiniment petit, ainsi que la crise méthodologique et épistémologique qu'elles ont causée dans la science grecque. Les deux thèses les plus importantes historiquement et philosophiquement qui répondirent à cette crise du réalisme antique furent *la division des sciences* d'Aristote et *la vision architectonique des mathématiques* telles que proposées par plusieurs néoplatoniciens. Chacune d'elles tentait de régler un problème ontologique, soit celui de l'homogénéité rationnelle de l'être à travers son exposition dans les différents discours raisonnés, principalement la métaphysique, la logique et les mathématiques. Lorsque ces thèses organisatrices furent appliquées aux apories mathématico-ontologiques, on a pu en déduire deux visions de la science mathématique et de son application à l'être, soit la vision

[229] SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators and the Mathematics of Motion, 1320-1350: Physics and Measurement by Latitudes*, p. 91 et FUNKENSTEIN, Amos, *Théologie et imagination scientifique*, p. 338.

instrumentale et bornée des mathématiques ainsi que la vision transcendante et organisatrice des mathématiques.

Nous avons ensuite exposé sommairement comment le réalisme scientifique et épistémologique grec, transmis à travers les deux thèses organisatrices de la science, subit peu d'élargissement, quant à ses résultats positifs et à ses thèses élémentaires, durant le processus de *transfert des études*. Ensuite nous avons démontré amplement que ce que nous nommons *le legs gréco-arabe* a subi un remaniement interne presque complet suite aux conditions matérielles de la transmission des textes ainsi qu'à la tendance au syncrétisme philosophique extrêmement dominante durant l'Antiquité tardive et qui se poursuivit presque inconsciemment durant le Moyen Âge.

Durant la période d'intégration des connaissances du legs gréco-arabe, nous avons soulignée comment la relation latine aux textes et aux théories antiques, ce que nous nommons *la lecture critique des anciens*, entraîna un processus de découpage du legs gréco-arabe selon des considérations souvent extrinsèques à son contenu. Les scolastiques utilisèrent massivement la logique et la grammaire, héritées en partie de la tradition latine pré-Tolède, pour organiser et revitaliser le savoir provenant du *transfert des études*, ce qui prit plusieurs centaines d'années et aboutit à des résultats très variables selon les domaines. Nous avons postulé que ce processus de découpage se complexifia durant le XIV^e^ siècle, puisque le legs gréco-arabe fut définitivement adapté au monde latin et généra de nombreux avancements philosophiques au-delà de lui-même, principalement l'utilisation métathéorique de la logique et de sa cohérence interne dans *la logique des modernes*.

Plus particulièrement, nous avons élaboré le phénomène de *lecture critique des anciens* grâce à un cas particulier, celui des *Calculatores* d'Oxford et de Thomas Bradwardine, puisque ce cas met en lumière l'introduction progressive dans le monde latin, entre autres grâce à l'influence du *courant francisco-chartrain*, d'une utilisation des mathématiques de plus en plus similaire à celle de la logique, soit une utilisation métathéorique des connaissances mathématiques. Nous avons analysé d'autres facteurs concomitants, soit *l'influence grandissante du terminisme* comme aboutissement ontologique de la logique des modernes et *la fluidité méthodologique* grandissante chez les scolastiques du XIV^e^

siècle, ce qui nous permit de postuler la désolidarisation des structures ontologiques et gnoséologiques typiques du péripatétisme gréco-arabe et des sciences antiques. Cette position implique une redéfinition des rapports entre le penseur médiéval, l'être, le monde naturel, les connaissances et la cohérence logico-mathématique qui porta, à notre avis, un coup fatal au réalisme de la science grecque.

Grâce à l'analyse du *Traité des rapports* et en considérant son énorme influence sur la philosophie naturelle scolastique, nous avons pu légitimer empiriquement l'idée que l'utilisation syncrétique des deux thèses organisatrices de la connaissance antique est une des composantes déterminantes de l'utilisation des mathématiques comme outil métathéorique au Moyen Âge. En effet, c'est dans le contexte précis entourant Thomas Bradwardine que l'on voit apparaître l'utilisation réfléchie *d'un apparat mathématique axiomatisé* pour analyser des théories antiques en philosophie naturelle selon leur cohérence logico-mathématique. Nous croyons de plus que la *distance épistémique* entre les connaissances du legs gréco-arabe et le penseur scolastique du XIVe siècle causée par le phénomène de *lecture critique des anciens* est la condition de possibilité du discours métathéorique développé par Thomas Bradwardine et progressivement transmis partout à travers l'Europe.

Alain de Libera exprime clairement et dans son vocabulaire technique ce que notre recherche a tenté de cerner avec le concept de *distance épistémique* grâce à un cas particulier, bien que De Libera parle de tout le XIVe siècle lorsqu'il dit que :

> L'essence du projet mathématique scolastique ne réside pas dans la mathématisation de la physique, mais dans un ensemble de procédures et de méthodes de *calcul* portant sur des déterminations et des énonciations anticipantes, ou propositions, qui constituent autant de prises préalables et de variations sur la manière dont se *construisent* des processus de changement. Cette construction ne vise ni à décrire ni à reconstituer ce qui se passe en *réalité*, mais à définir une vérité normative pour le "savoir naturel" conçu comme auto-enchaînement d'énoncés portant sur des objets, les *mobiles*, soumis par la pensée à des stipulations autonomes sinon arbitraires (*casus*)[230].

[230]DE LIBERA, Alain, *Le développement de nouveaux instruments conceptuels et leur utilisation dans la philosophie de la nature au XIVe siècle,* dans *Knowledge and the Sciences in Medieval Philosophy*, p. 161.

Il est bien évident que ce segment est d'une profondeur abyssale et prend racine dans une histoire presque globale du problème de la philosophie naturelle médiévale, alors contentons-nous de souligner la similarité entre la structure de son analyse et celle que nous avons présentée. Nous croyons que la correspondance entre ce que nous nommons la cohérence logico-mathématique et ce que De Libera présente comme « une vérité normative pour le savoir naturel » est assez forte pour poser l'équivalence de nos conclusions, soit que Bradwardine et les *Calculatores* ne mathématisent pas la physique. Ils utilisent les mathématiques comme outils métathéoriques pour organiser les connaissances du legs gréco-arabe dans l'espace entre la réalité et les théories qui a été généré par le processus de lecture critique des anciens ainsi que par la matrice du terminisme latin.

Nous tenions à prendre appui sur une perspective plus informée et complète de la situation que nous avons décrite comme point d'arrivée de notre histoire de la problématique de l'utilisation des mathématiques en physique au Moyen Âge, car il est clair qu'exposer un narratif aussi fort en épistémologie historique ne peut se faire sans *phare*, ce que nous fournit Alain de Libera pour la période médiévale, quoique son angle d'approche soit nettement plus large que le nôtre. Suite à cette synthèse, nous pouvons traiter de ses implications sur la liaison que nous faisions au chapitre 1 entre la méthode de Bradwardine, les intelligibilités fonctionnelles et la thèse de la « filière néoplatonicienne ».

4.1 L'histoire des sciences et de la philosophie : seule bouée pour l'épistémologie historique ?

En prenant le choix méthodologique de remonter l'histoire de la méthode de Bradwardine à partir de ses sources durant notre recherche, nous avons dû laisser de côté un enjeu fondamental de notre questionnement, soit la nature du lien entre la philosophie scolastique et le développement de la science moderne ainsi que sa particularisation durant le XV^e^ et le XVI^e^ siècle. Pourtant, le fait de commencer l'histoire d'un problème grâce à ses armatures historiques et de suivre cette piste jusqu'à notre auteur nous a permis d'éviter certaines des illusions rétrospectives qui ont massivement infecté ce domaine de recherche durant le dernier siècle. Bien que partielle, il nous semble que notre présentation de l'auteur permet d'avoir une vision claire de ce qu'était la pratique scientifique à cette époque dans le milieu universitaire, soit un travail de découpage et d'organisation, grâce à des outils métathéoriques, des connaissances scientifiques gréco-arabes ainsi que de leur accomplissement et combinaison à travers la pratique en plein essor des sciences médianes chez les techniciens durant cette époque.

À partir de ce portrait, il ne nous semble pas exagéré de réaffirmer deux des trois arguments que nous soulevions en début de recherche contre un segment précis du narratif koyréen sur la révolution scientifique du XVIIe siècle, soit celui de la « filière néoplatonicienne ». Il nous apparaît encore plus clairement après ces recherches que la place du néoplatonisme dans l'Europe latine est énorme et participe organiquement à la pratique scientifique et philosophique des auteurs scolastiques, bien que ce néoplatonisme soit éloigné de notre représentation moderne du néoplatonisme comme un corpus théorique sous le patronage des textes de Platon et de leur exégèse par Plotin et les autres maîtres néoplatoniciens dont nous avons pu recomposer les écrits. Il est au contraire présent durant l'ensemble du *transfert des études* comme l'accomplissement du projet syncrétique des penseurs néoplatoniciens en plus de conserver et de transmettre la majorité des thèses que nous considérons comme déterminantes dans l'apparition de la mathématisation des objets de recherches scientifiques, par exemple les thèses de la nature architectonique des mathématiques et de l'infini ainsi que leur utilisation comme un outil d'interprétation.

De ce constat et d'un vaste ensemble de considérations historiques déjà mentionnées provient mécaniquement notre deuxième argument, soit que l'effervescence mathématique et technique incarnée par un Da Vinci ou un De Cues durant la fin du XVe siècle est tributaire[231], pour ne pas dire dépendante, de la montée du technicien ainsi que de l'intégration du legs gréco-arabe dans l'écosystème intellectuel de l'Europe latine durant le XIIIe et surtout le XIVe siècle. Nous croyons qu'il est impossible de faire une coupure entre la version en essor de cet idéal, que l'on constate autant chez un théologien comme Bradwardine, chez un marchand comme Leonardo de Pise ou chez un architecte comme Villard de Honnecourts[232], et sa réalisation 150 ans plus tard, malgré les changements qu'a amenés l'appropriation d'une plus grande variété de textes de la tradition antique. Nous

[231] BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 87-94.
[232] TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, p. 636-638.

avons presque l'impression concernant cet enjeu de mener une lutte finale contre les reliquats du narratif événementiel classique présentant le déclin de l'Empire byzantin comme la source d'un transfert de la primauté intellectuelle vers l'Occident. Dans notre perspective, la philosophie scolastique de la fin du Moyen Âge et l'essor des techniciens sont deux facteurs concomitants et nécessaires à la réapparition d'un modèle presque antique dans le destin scientifique et culturel de l'Europe, puisque ce modèle n'aurait pas pu être intégré en Europe sans que préalablement il devienne digeste pour les esprits et les courants intellectuels de la Renaissance. Bien que à distance les travaux de la scolastique peuvent nous sembler incroyablement rébarbatifs, autant les humanistes qu'Auguste Comte et Martin Heidegger ont convenu avec nous de ce constat, il n'en reste que cette épopée incroyablement laborieuse de mastication et de digestion du legs gréco-arabe est essentielle philosophiquement, puisqu'elle permit le développement des outils méthodologiques ainsi que la revitalisation des savoirs, stagnés depuis l'époque hellénistique, permettant une pratique proprement scientifique de la philosophie. La remise en place de la logique comme boussole de la pensée théorique humaine et l'intégration critique des mathématiques comme outils métathéoriques sont des attributs nécessaires à la pratique scientifique sérieuse et non équivoque qui avait été gravement menacée par l'engouement métaphysique et théologique de la fin de l'Antiquité. À partir de ces réflexions, il nous semble incontestable que toutes les explications du caractère européen ayant permis la révolution scientifique doivent se faire avec une représentation élargie de l'activité philosophique et scientifique en Europe qui inclut comme élément déterminant la tradition philosophique de la scolastique ainsi que la place jouée par les sciences médianes au Moyen Âge.

Beaucoup moins certaines sont nos considérations concernant ce que nous avons nommé la méthode des intelligibilités fonctionnelles et son développement concomitant à la révolution scientifique, puisque malgré les remarques factuelles sur la pratique des sciences chez Galilée et Newton, il nous est impossible de tracer un lien empiriquement légitime entre la *distance épistémique* constatée durant la fin du Moyen Âge, par exemple dans l'utilisation métathéorique des mathématiques chez Bradwardine, et la fonctionnalisation des ratiocinations pures dans une théorie descriptive et prédictive. Nous croyons avoir illustré comment le réalisme scientifique naïf de l'Antiquité fut grandement affaibli par la médiation des thèses concernant l'organisation du savoir durant le Moyen Âge ainsi que par les développements fulgurants en logique et en sémantique, mais nous ne pouvons conclure à partir de ces faits de structures que la méthodologie scientifique moderne fut présente en embryon dans celle des scolastiques. Au mieux était-elle une condition de possibilité nécessaire à l'apparition des descriptions fonctionnelles en sciences et en philosophie. Il semble pourtant manquer un élément quant à la pratique ayant pris place dans cette *distance épistémique* créée par les scolastiques qui ne peut être obtenu qu'en analysant précisément le travail scientifique des personnes à la limite de ces deux périodes, par exemple les physiciens italiens du XVI^e^ siècle ainsi que les participants au développement de la science mathématique de l'analyse durant cette même époque[233].

En somme, nous voyons le *topos* dans lequel les intelligibilités fonctionnelles ont pu devenir le modèle scientifique dominant, pourtant nous ne voyons pas quelle fut la *pratique* qui conditionna suffisamment l'*épistémè* occidentale pour que les philosophes et scientifiques du XVII^e^ siècle utilisent un savoir par l'acte, créent ces ratiocinations pures et les utilisent, au lieu du savoir par contemplation, qui trouvait sa source et sa finalité à l'extérieur de l'humain dans l'organisation ontologiquement rigide du monde. Nous avons bien constaté comment Bradwardine, sous l'influence des deux thèses organisatrices du savoir, fut amené à pratiquer l'activité scientifique et philosophique avec les outils qui deviendront déterminants en physique et en analyse mathématique durant le XVII^e^ siècle. Pourtant la méthode de Bradwardine est un composé de différentes approches et traditions de la scolastique plutôt qu'une méthode autonome et critique permettant d'expliquer les phénomènes naturels.

Malgré la nature historiquement contingente de la méthode de Bradwardine, il est indéniable que son influence entraîna sa diffusion, autant par ses critiques que par ses supporteurs, en Italie, en France et en Angleterre, et que cette diffusion permit à ce segment du savoir d'être disputé et enseigné systématiquement. Nous ne croyons pas errer en

[233] Par exemple une remarque de Boyer concernant le travail de Nicolas Tartaglia dans la transmission des thèses scolastiques en physique autant que la remise à jour des textes d'Archimède et d'Euclide grâce aux textes grecs nous fait croire qu'il est un des archétypes du savant protogaliléen pouvant nous fournir des informations primordiales sur le point médian entre les *Calculatores* et Galilée. Cf. BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus*, p. 97.

affirmant que la méthode de Bradwardine fut l'illustration scolastique d'une ébullition scientifique et philosophique propre à la fin du Moyen Âge et qu'elle permit aux scientifiques européens de se familiariser avec une méthode qu'ils retrouveront massivement avec la diffusion des travaux d'Archimède durant le XVe et le XVIe siècle. Nous pouvons en conclure que la Renaissance, bien loin d'être une révolution philosophique et technique, est l'étape finale d'une consolidation du legs gréco-arabe ayant débuté dès les premières traductions de Tolède et prenant même racine dans les différentes autorités latines et la tradition qu'elles engendrèrent, comme Boèce et Augustin l'illustrent parfaitement.

Ainsi il nous semble évident que le moteur philosophique de l'explication koyréenne de la révolution scientifique, soit ce que nous nommons la filière néoplatonicienne, est une vision réductrice d'un processus impossible à restreindre sur un ou deux siècles. Il serait avantageux, pour s'assurer d'avoir une compréhension complète et claire d'un segment autant déterminant que la révolution scientifique du XVIIe siècle, d'agrandir le narratif historique de la dualité entre les deux thèses antiques de l'organisation du savoir et leurs doctrines sous-jacentes. Nous proposons de chercher un nouveau moteur à l'explication koyréenne dans l'opposition entre le savoir ergétique, par le faire, et le savoir contemplatif défendu par Amos Funkenstein et dans l'idée de la désolidarisation ontologique du savoir antique au XIVe siècle proposée par Edith Sylla[234]. Nous croyons avoir amplement démontré la nature réductrice d'un narratif mettant trop en avant l'opposition entre le platonisme et l'aristotélisme, ce qui justifie de reprendre l'explication, en plusieurs autres points parfaitement cohérente et historiquement véridique, de Koyré sous l'auspice d'une idée directrice, soit comment le savoir est-il devenu un outil d'interprétation du savoir plutôt qu'un outil d'interprétation de l'être.

Autrement dit comment l'ensemble des connaissances humaines a-t-il pu devenir un objet assez réel et distant de l'être pour développer ses propres lois internes, entre autres mathématiques et logiques, et comment ces lois ont-elles pu devenir des outils herméneutiques assez puissants pour littéralement prédire, contrôler et surtout *produire* le

---

[234] SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators Middle Degree Theorem in Context*, dans *Early Science and Medicine*, p. 362-369 et FUNKENSTEIN, Amos, *Théologie et imagination scientifique,* p. 328-361.

monde naturel et social ? Peut-être par ironie du sort, nous nous retrouvons face au même problème que les médiévaux, soit celui de la classification des sciences, c'est-à-dire de trouver des plans d'organisation et de hiérarchisation des sciences d'une manière holistique prenant en compte les interactions des sciences dans l'édifice total et poreux qu'est le savoir humain. En ce début de XXIe siècle, il reste très peu de défenseurs d'une thèse positiviste de l'organisation du savoir, puisqu'il semble hors de tout doute qu'au-delà de l'expérience et des résultats, la relation qu'entretient une science avec ses outils et ses concepts est fortement déterminée par sa place dans l'organisation globale des sciences, par son propre développement historique et par sa proximité avec certains domaines scientifiques. Ce n'est pas pour rien que la révolution en science historique due au XXe siècle a affecté énormément les sciences sociales limitrophes, comme l'anthropologie ou la science des religions, bien avant d'atteindre avec la même force la chimie ou les mathématiques. La même remarque peut se faire quant à l'influence de la théorie du chaos sur la physique et les mathématiques bien avant son instauration presque paradigmatique en écologie et en économie.

D'un autre côté, ce que nous avons nommé la thèse de l'apriorisme historico-théorétique se retrouve aussi face à des problèmes déterminants, en premier lieu l'établissement consensuel des histoires et des théories pouvant déterminer les *apriori* affectant l'activité scientifique. Un exemple frappant de cette problématique est l'omission presque complète, autant par Alexandre Koyré que par Pierre Duhem, du rôle de la montée des techniciens durant le Moyen Âge, facteur qui a été souligné systématiquement par les historiens de la science comme les ouvrages synthèses de René Taton sur l'histoire des sciences et l'histoire des techniques le prouvent hors de tout doute. Autant l'importance de certains facteurs historiques ou matériels est souvent minimisée par les praticiens de l'épistémologie historique, autant les facteurs proprement théoriques sont souvent méconnus ou désolidarisés par les historiens de la science, comme le prouve le triomphe international, grâce à sa portée et à sa cohérence historique et philosophique exceptionnelle, du narratif koyréen expliquant la révolution scientifique du XVIIe siècle. N'en reste, les recherches conjuguées de ces deux groupes et l'aspect de plus en plus total que prend notre connaissance du passé et de ses sciences nous poussent fortement à croire que c'est par la voie qui fut tracée par Duhem, Koyré et l'épistémologie française qu'une vérité supérieure et féconde pourra prendre racine. Nous croyons même que ce projet doit être radicalement étendu à l'ensemble des domaines du savoir, donc aussi et d'une manière urgente à la logique et aux mathématiques, qui ont trop conservé l'éclat de leur statut antérieur dans l'organisation des connaissances. Seulement cette voie nous semble possible pour permettre la saisie de l'essence du développement scientifique et permettre peut-être une cohabitation plus paisible entre l'humain et sa création.

Conclusion

Suite à cette recherche, une réflexion méthodologique et personnelle s'impose, soit que l'approfondissement philosophique mené par l'épistémologie historique, ainsi que la valeur des thèses qu'elle peut proposer, dépend entièrement de sa *pratique*. Par pratique nous voulons évoquer l'activité de recherche historique ainsi que le travail intellectuel requis pour obtenir les connaissances théoriques nécessaires à la compréhension de l'histoire qui nous est accessible. Bien souvent, sous la lorgnette présentiste que nous partageons tous, le passé et l'activité de réflexion des philosophes et scientifiques semblent se simplifier dans son contenu tout en se complexifiant dans sa forme. Cet effet provient probablement de l'adaptation didactique que subissent les connaissances dans le système total qu'est devenue la science contemporaine à l'âge de l'informatique, autrement dit la nature partagée et instantanée de l'activité scientifique mondiale. La facilité d'accès à des versions modernes de certaines connaissances parfois plusieurs fois centenaires laisse une trace indélébile dans l'esprit du penseur voulant se projeter dans les situations des chercheurs le précédant, puisqu'elle rend inaccessible la difficulté et la simplicité propre que ces théories possédaient pour les acteurs du passé que nous étudions. Par la pratique de la réflexion historique et épistémologique, nous avons vraiment ressenti la force incroyable de l'illusion rétrospective qui semble pourtant si facile à constater *a posteriori*, surtout chez des philosophes de notre époque, mais vivant dans un monde conceptuel assez distant pour faire sentir son altérité. Quiconque aura tenté cette expérience d'immersion confondante en sortira certainement plus avancé que les penseurs du siècle dernier, mais comprendra parfaitement autant la taille colossale de leur effort que les sources universellement inévitables de leurs erreurs.

Un exemple nous a particulièrement sauté aux yeux durant notre recherche, soit la difficulté d'accès de certaines connaissances par les sources du passé sans un outil moderne, suivie de l'illusion de simplicité se dégageant d'un savoir maintenant sous l'égide de sa version moderne. Dans notre cas, l'exposition par Boèce des suites et des différentes lois de l'arithmétique de base nous est apparue comme incroyablement difficile, non pour les raisonnements, mais pour l'écart entre les modèles de réflexion, les références communes et les concepts du passé et du présent. Après avoir suivi un seul cours d'analyse moderne, des segments de Boèce qui étaient restés obscurs durant plusieurs dizaines de relectures sont apparus sous un jour nouveau, plus clairs, mais foncièrement artificiels. Un véritable gouffre sémantique et didactique s'est manifesté dans cette situation étrange qui consiste à ne pas être capable de comprendre une théorie élémentaire dans sa forme antique, puis voir, par une illusion de perspective, en la même théorie un aspect restreint et facilement accessible d'un savoir enseigné dans les universités de notre époque.

Face à un vice cognitif aussi puissant, nous croyons qu'uniquement une pratique continue de cette immersion dans l'inconfort et l'obscurité des anciens scientifiques ancrée dans une compréhension et une déconstruction contrôlée des connaissances modernes du penseur peuvent au mieux limiter les dégâts. Bien que la recherche philosophique en science avec les outils historiques se laisse maintenant voir dans sa nature propre, celle d'un narratif beaucoup plus que celle d'une déduction, elle expose du même coup la folie et la naïveté des analyses de la science, pourtant partagée par une très grande proportion des praticiens de la science moderne, postulant une progression nécessaire découlant d'une évolution des concepts, d'une accumulation des expériences ou de l'invention d'une nouvelle méthode. Bien que nous croyions nous être « guéri » de cette vision presque téléologique du monde et de la science, l'alternative nous laisse dans un état de stupeur devant l'épreuve de la dissonance qui s'élargit entre chaque époque. Face à un tel niveau de contingence foncière, l'histoire humaine apparaît même dans son aspect qui semblait le plus nécessaire, le plus solide, la Science, comme cette fameuse chaîne s'enfonçant dans les méandres d'une obscurité qui n'est pas temporelle ou matérielle, comme le postula Duhem au début du XXe siècle, mais bien intersubjective et cognitive.

Bibliographie

Auteurs anciens et médiévaux

ARISTOTE, *Catégories et De l'interprétation*, dans *Organon*, trad. et notes par Jules Tricot, Paris, J. Vrin, 1969, 229 p.

ARISTOTE, *Métaphysique*, prés. et trad. par Marie-Paule Duminil, Paris, Garnier-Flammarion, 2008, 492 p.

ARISTOTE, *Physique*, prés. et trad. par Pierre Pellegrin, Paris, Garnier-Flammarion, 2000, 427 p.

ARISTOTE, *Premiers Analytiques*, trad. par Michel Crubellier, Paris, Garnier-Flammarion, 2014, 397 p.

ARISTOTE, *Seconds Analytiques*, prés. et trad. par Pierre Pellegrin, Paris, Garnier-Flammarion, 2005, 432 p.

BOÈCE, *Institution Arithmétique*, trad. Jean-Yves Guillaumin, Paris, Les Belles Lettres, 1995, 252 p.

BOÈCE, *La Consolation de Philosophie*, Éd. Claudio Moreschini, Trad. et notes Éric Vanpeteghem, Intro. Jean-Yves Tilliette, Paris, Librairie générale française (Le livre de poche. Lettres gothiques), 2008, 321 p.

BRADWARDINE, Thomas, *La cause de Dieu contre les Pélagiens*, trad. Joël Biard, dans *De la Théologie aux Mathématiques : L'infini au XIVe siècle*, Paris, Les Belles Lettres, 2005, 315 p.

BRADWARDINE, Thomas, *Traité sur le continu*, trad. Sabine Rommevaux, dans *De la Théologie aux Mathématiques : L'infini au XIVe siècle*, Paris, Les Belles Lettres, 2005, 315 p.

BRADWARDINE, Thomas, *Geometria speculativa*, trad., intro. et commentaire par George Molland, Stuttgart, Franz Steiner Verlag Wiesbaden GMBH, 1989, 176p.

BRADWARDINE, Thomas, *Traité des rapports entre les rapidités dans les mouvements*, trad. et intr. Sabine Rommevaux, Paris, Les Belles Lettres, 2010, 190 p.

GUILLAUME HEYTESBURY, *On Insoluble Sentence: Chapter One of his Rules for Solving Sophisms*, trad. et comm. Paul Vincent Spade, Toronto, Pontifical Institute of Mediaeval Studies, 1979, 111 p.

JEAN DE SALISBURY, *Metalogicon*, éd. Webb, dans *Ioannis Saresberiensis Episcopo Carnotensis Metalogicon Libri iv*, éd. C. C. J. Webb, Londres, Clarendon Press, 1929.

JEAN DE SALISBURY, *Metalogicon*, trad. Lejeune, dans *Jean de Salisbury Metalogicon. Présentation, traduction, chronologie, index et notes par François Lejeune*, Paris, Vrin, Québec, PUL, 2009, 413 p.

NICOMAQUE DE GÉRASE, *Introduction arithmétique*, trad. et intro. Janine Bertier, Paris, J. Vrin, 1978, 253 p.

PLATON, *La République*, trad. Georges Leroux, Paris, GF-Flammarion, 2004, 801 p.

PLATON, *Le Sophiste*, trad. Nestor Cordero, Paris, GF-Flammarion, 1993, 324 p.

PLATON, *Le Timée*, trad. Luc Brisson, Paris, GF-Flammarion, 2017, 495 p.

THOMAS D'AQUIN, *Le Physique d'Aristote et son commentaire*, trad. et intro. Yvan Pelletier, Ottawa, Société d'études aristotélico-thomistes, 2018, Volume 2, 980 p.

Auteurs modernes et contemporains

BARBEROUSSE, Anouk, KISTLER, Max, LUDWIG, Pascal, *La philosophie des sciences au XXe siècle*, Paris, Flammarion, 2000, 353 p.

BOYER, Carl B., *The Concepts of the Calculus: A Critical and Historical Discussion of the Derivative and the Integral*, Wakefield, Hafner publishing company, 1949, 347 p.

BRAUNSTEIN, J.-F., *L’histoire des sciences, méthodes, styles et controverses*, Paris, Vrin, 2008, 383 p.

BROWN, Stephen F., *The Reception and Use of Aristotle's Works*, dans *Aristotle in Britain during the Middle Ages*, Cambridge, Brepols, 1996, 378 p.

BRUNSCHVICG, Léon, *Les étapes de la philosophie mathématique*, Paris, Librairie Felix Alcan, 1912, 592 p.

BURTT, Edwin Arthur, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, New York, Harcourt, Brace and company, 1932, 343 p.

CARTWRIGHT, Nancy, *Fundamentalism vs The Patchwork of Laws*, London, Proceedings of the Aristotelian Society, Vol. 103, 1994, p. 279-292.

CLAGETT, Marshall, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison, University of Wisconsin Press, 1959, 711 p.

CLAVELIN, Maurice, *Le débat Koyré-Duhem, hier et aujourd'hui*, dans *History and Technology: an International Journal*, vol. (4):1-4, 1987, p. 13-35, DOI: 10.1080/07341518708581687.

CLAVELIN, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée*, Paris, Librairie Armand Colin, 1968, 504 p.

COMTE, Auguste, *Premiers cours de philosophie positive*, Paris, PUF, Quadrige, 2007, 546 p.

CONANT, James B., *La science moderne et l'homme moderne*, Paris, Librairie ISTRA, 1958, 126 p.

CORKUM, Phil, *Aristotle on Mathematical Truth*, dans *British Journal for the History of Philosophy*, London, Routledge, 20(6), 2012, p. 1057-1076.

CROSBY, H. Lamar, *Thomas Bradwardine: His Tractatus De proportionibus, its Significance for the Development of Mathematical Physics*, Madison, University of Wisconsin Press, 1961, 203 p.

DE LIBERA, Alain, *La philosophie médiévale*, Paris, PUF, 1993, 527 p.

DE LIBERA, Alain, *La querelle des universaux de Platon à la fin du Moyen Âge*, Paris, Du Seuil, 1996, 512 p.

DE LIBERA, Alain, *L'art des généralités : Théories de l'abstraction*, Paris, Aubier, 1999, 703 p.

DE LIBERA, Alain, *Le développement de nouveaux instruments conceptuels et leur utilisation dans la philosophie de la nature au XIVe siècle*, dans *Knowledge and the Sciences in Medieval Philosophy*, Helsinki, Acta Philosophica Fennica, Vol. 48, 1990, 284 p.

DE LIBERA, Alain, *L'archéologie philosophique : Séminaire du Collège de France* 2013-2014, Paris, Vrin, 2016, 269 p.

DESCARTES, René, *Règles pour la direction de l'esprit*, dans *Œuvres philosophiques*, Tome 1, Paris, Garnier, 1963, 829 p.

DESCARTES, René, *Recherche de la vérité*, dans *Œuvres de Descartes*, Paris, Librairie philosophique J. Vrin, 1996, 695 p.

DRAKE, Stillman, *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*, Vol. 2 et 3, Toronto, University of Toronto Press, 1999, 380 p., 392 p.

DUHEM, Pierre, *Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void and the Plurality of Worlds,* trad. Roger Ariew, Chicago, University of Chicago Press, 1985, 601 p.

DUHEM, Pierre, *Le système du monde*, Tome 1 et 4 et 7, Paris, Hermann, 1913, 512 p., 621 p., 664 p.

DUPONT, Jean-Claude, *Le clonage et l'idée de nature*, dans COLLECTIF, Les *nouveaux esclaves : clones et embryons*, Cités, vol. 8, nº 4, 2001, p. 115-150.

EINSTEIN, Albert, INFELD, Léopold, *L'évolution des idées en physique*, Paris, Flammarion, 1983, 281 p.

FUNKENSTEIN, Amos, *Théologie et imagination scientifique*, Paris, Presses Universitaires de France, 1995, 478 p.

GLEICK, James, *La théorie du chaos*, Paris, Flammarion, 1989, 431 p.

GRANT, Edward, MURDOCH, John E., *Mathematics and its Applications to Science and Natural Philosophy in the Middle Ages*, Cambridge, Cambridge University Press, 1987, 337 p.

HAAS, Max, *Les sciences mathématiques*, dans *L'enseignement de la philosophie au XIIIe siècle : Autour du « Guide de l'étudiant » du ms. Ripoll 109, Actes du colloque international*, éd. et comm. par Claude Lafleur, Turnhout, Brepols, 1997, 719 p.

HADOT, Ilsetraut, *Athenian and Alexandrian Neoplatonism and the Harmonization of Aristotle and Plato*, Leiden, Brill, 2015, 188 p.

HAMILTON, Alan G., *Logics for Mathematicians*, Cambridge, Cambridge University Press, 1988, 228 p.

HEISENBERG, Werner, *La partie et le tout : Le monde de la physique atomique*, Paris, Flammarion, 1969, 422 p.

KALUZA, Zénon, *Études doctrinales sur le XIVe siècle - Théologie, Logique, Philosophie*, Paris, Vrin, 2013, 386 p.

KOYRÉ, Alexandre, *Du monde clos à l'univers infini*, Baltimore, Gallimard, 1973, 350 p.

KRETZMANN, Norman, KENNY, Anthony, *The Cambridge History of Later Medieval Philosophy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982, 1035 p.

KRETZMANN, Norman, STUMP Eleonore, *The Cambridge Translations of Medieval Philosophical Texts: Logic and the Philosophy of Language*, Cambridge, Cambridge University Press, 1988, 530 p.

KUHN, Thomas, *The Copernican Revolution*, Cambridge, Harvard University Press, 1957, 297 p.

LEFF, Gordon, *Thomas Bradwardine's De Causa Dei*, dans The *Journal of Ecclesiastical History*, 7(1), London, 1956, p. 21-29, doi:10.1017/S0022046900071487

LINDBERG, David C., SHANK Michael H., *The Cambridge History of Science: Medieval Science*, Cambridge, Cambridge University Press, Vol. 2, 2003, 678 p.

MAZIARZ, Edward A., GREENWOOD, Thomas, *Greek Mathematical Philosophy*, New York, Frederick Ungar Publishing Co., 1968, 271 p.

MORIN, Edgar, LE MOIGNE, Jean-Louis, *L'intelligence de la complexité*, Paris, L'Harmattan, 1999, 332 p.

PIRONET, Fabienne, *Guillaume Heytesbury : Sophismata Asinina, une introduction aux disputes médiévales*, Paris, Librairie philosophique J. Vrin, 1994, 644 p.

POINCARÉ, Henri, *La valeur de la science*, Paris, Flammarion, 1970, 187 p.

POINCARÉ, Henri, *La science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 1968, 252 p.

RABOUIN, David, *Mathesis Universalis : L'idée de « mathématique universelle » d'Aristote à Descartes*, Paris, Épiméthée, Presses Universitaires de France, 2009, 416 p.

ROSS, David, *Aristotle*, London, Methuen & Co LTD, 1964, 300 p.

SAMBURSKY, Shmuel, *Physical Thought: From Presocratics to the Quantum Physicists*, New York, Pica Press, 1974, 584 p.

SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators' Middle Degree Theorem in Context*, dans *Early Science and Medicine*, Leyde, Brill, Vol. 15, 2010, 338-370 p.

SYLLA, Edith D., *The Oxford Calculators and the Mathematics of Motion, 1320-1350: Physics and Measurement by Latitudes*, Boston, Harvard University Press, 1970, 752 p.

TATON, René, *La science antique et médiévale : Des origines à 1450*, Paris, Presses Universitaires de France, 1966, 720 p.

TRIFOGLI, Cecilia, *Oxford Physics in the Thirteenth Century: Motion, Infinity, Place and Time*, Boston, Brill, 2000, 290 p.

WAGNER, Pierre, *Les philosophes et la science*, Paris, Gallimard, Folio Essais, 2002, 1067 p.

WILSON, Curtis, *William Heytesbury: Medieval Logic and the Rise of Mathematical Physics*, Madison, University of Wisconsin Press, 1960, 219 p.